

# IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN UTILIZANDO EL PROTOCOLO X.10

DAVID EDUARDO MILLÁN CHACÓN  
HERNAN FELIPE SÁNCHEZ PARRA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2004

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN  
UTILIZANDO EL PROTOCOLO X.10

DAVID EDUARDO MILLÁN CHACÓN  
HERNAN FELIPE SÁNCHEZ PARRA

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Director  
JAIR AGUADO  
Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA  
SANTIAGO DE CALI

2004

**Nota de aceptación:**

Trabajo aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Electrónico

DIEGO MARTÍNEZ

JURADO

HÉCTOR FABIO ROJAS

JURADO

Santiago de Cali 28, 07, 2004

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a cada una de las personas que tuvieron que ver a lo largo de mi crecimiento intelectual y personal, en especial a mis padres y mis hermanas porque hicieron muchos sacrificios para que yo pudiera estudiar lo que verdaderamente quería, a mis amigos(as) que me apoyaron y me tuvieron paciencia cuando las cosas no salían de la mejor manera, a cada uno de los profesores con los cuales discutí con razón y sin ella. En especial quiero dedicar este proyecto a: Ruz Mary mi madre, Hernán mi padre, Maria del Socorro, Angélica mis hermanas y a Valeria mi sobrina.

Hernán Felipe Sánchez

A mi padre que me dio una segunda oportunidad, este título es más de él que mío pues para cada matricula el que hacía verdaderos milagros era él.

David

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAG</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>1 JUSTIFICACIÓN</b>	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
<b>3 ANTECEDENTES</b>	<b>14</b>
<b>4 PROTOCOLO X-10</b>	<b>15</b>
4.1 INTRODUCCIÓN	15
4.2 MODO DE TRANSMISIÓN X-10	16
4.3 TRAMAS X-10	17
4.3.1 Ejemplo de transmisión X-10	21
<b>5 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN UTILIZANDO EL PROTOCOLO X.10</b>	<b>23</b>
5.1 INTRODUCCIÓN	23
5.2 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE	24
5.2.1 Diagrama de bloques	24
5.2.2 Detector de cruce por cero	25
5.2.3 Generación de onda de 120 KHz	27
5.2.3.1 Cálculo del PWM	27
5.2.3.2 Cálculo del timer 0	30
5.2.3.3 Circuito para inyectar la señal de 120 kHz a la red electrica	31
5.2.4 Detector de onda de 120 kHz	32
5.2.5 Modulo LCD	36
5.2.6 Botones de control	36
5.2.7 Diagrama de como se encuentra dividido el sistema en el PIC16f877A	36
5.2.8 Alimentación sin transformador	38
5.2.8.1 Implementación	38
5.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE	41

5.3.1	Descripción de las funciones realizadas por el sistema	41
5.3.2	Descripción de cada una de las funciones que conforman el software	42
5.3.2.1	Inicio del programa	42
5.3.2.2	Inicialización del sistema	43
5.3.2.3	Funcionamiento de las interrupciones como modulo transmisor	45
5.3.2.4	Funcionamiento de las interrupciones como modulo receptor	46
5.3.3	Diagramas de flujo del software desarrollado	47
5.3.4	Esquemáticos de la aplicación.	52
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>55</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>57</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>59</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>PAG</b>
Tabla 1. Direcciones de Casa X-10	18
Tabla 2. Códigos Del campo Dispositivo / Función	19
Tabla 3. Descripción de como están siendo utilizados los pines del PIC16F877A	37
Tabla 4. Funciones del dispositivo.	41
Tabla 5. Direcciones de los dispositivos receptores.	42
Tabla 6. Funciones de las variables del sistema	43
Tabla 7. Distribución de los puertos	44

## LISTA DE FIGURAS

	PAG
Figura 1. Envío de ráfagas en un sistema trifásico	15
Figura 2. Envío de ráfagas en un sistema monofásico	16
Figura 3. Transmisión de unos y ceros	16
Figura 4. Trama X-10	17
Figura 5. Palabra de inicio	17
Figura 6. Mensaje (Código casa -- Código Disp / Función)	20
Figura 7. Código sufijo	20
Figura 8. Bloque de ceros	21
Figura 9. Diagrama de bloques del dispositivo	24
Figura 10. Detector de cruce por cero	25
Figura 11. Generador de señal de 120 kHz	32
Figura 12. Filtro pasa banda	34
Figura 13. Detector de señal de 120 kHz	36
Figura 14. Rectificación de onda sin transformador	39
Figura 15. Fuente de 5V y -5V sin transformador	40
Figura 16. Diagrama de flujo básico del sistema	47
Figura 17. Diagrama de flujo modulo Transmisor/Receptor	48
Figura 18. Diagrama de flujo modulo Interrupcion Timer 0	48
Figura 19. Diagrama de flujo interrupcion Externa (Transmision)	49
Figura 20. Diagrama de flujo Interrupción Externa (Receptor)	50
Figura 21. Diagrama de flujo interrupción de cambio en el Puerto B.	51
Figura 22. Esquemático Microcontrolador 16F877	52
Figura 23. Esquemático LCD y botones de control	52
Figura 24. Esquemático Generador de onda de 120 kHz	53
Figura 25. Esquemático Detector de Onda de 120 kHz.	54
Figura 26. Esquemático Fuente de alimentación.	54



## **LISTA DE ANEXOS**

### **PAG**

ANEXO A. Configuración básica del dispositivo	59
ANEXO B. Filtro pasa banda	69
ANEXO C. Análisis de señales	73

## **RESUMEN**

La utilización de señales en las diferentes aplicaciones desarrolladas ha hecho que entre más aplicaciones existan, mayor sea la necesidad de una estructura física para soportar tal aplicación, creando diversos tipos de redes las cuales mantienen en constante crecimiento; esto ha hecho que con el tiempo se necesiten más de un tipo de cableado, dando lugar a que hallan más de 3 tipos de cables en un hogar y muchos más en la industria.

Como un solución a este tipo de problema, surge el protocolo X.10, el cual permite transmitir diferentes señales a través de la red eléctrica, la cual tomamos como la red existente de 120 VAC con una frecuencia de 60 Hz; la razón de tomar a la red eléctrica como medio de transmisión, es que esta se encuentra en cualquier tipo de construcción, dando como resultado la falta de necesidad de otro tipo de red.

Para la implementación de este protocolo, es necesario construir al menos dos tipos de módulos, un módulo de control y otro receptor, que permitirán la comunicación entre dos lugares remotos, con la única condición de estar conectado a la red eléctrica.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el manejo de señales eléctricas es muy común para la manipulación de dispositivos (Maquinaria, Computadores, Robots, etc) a larga distancia, esto para obtener señales sobre el estado de los mismos o para poder enviar señales hacia sus módulos de control. Lograr esto requiere de la construcción de redes de comunicación o de control por las cuales las señales detectadas y las señales de transmisión van a viajar hacia su destino, es decir, se vuelve obligatorio diseñar una estructura física por aparte de los sistemas de alimentación para lograr dicho fin, lo cual se convierte en un problema al momento de construir este tipo de redes en edificaciones ya establecidas.

Como un solución a este tipo de problema, surge el protocolo X.10, el cual permite transmitir diferentes señales a través de la red eléctrica, la cual tomamos como la red existente de 120 VAC con una frecuencia de 60 Hz; la razón de tomar a la red eléctrica como medio de transmisión, es que esta se encuentra en cualquier tipo de construcción, esto reduce al máximo las posibilidades de tener que construir una red aparte de los sistemas de alimentación al igual que la necesidad de tender nuevos cableados en edificaciones ya existentes.

Para la implementación de este protocolo, es necesario construir al menos dos tipos de módulos, un módulo de control y otro receptor, que permitirán la comunicación entre dos lugares remotos, con la única condición de estar conectado a la red eléctrica, estos pueden ser instalados fácilmente por cualquier persona sin necesidad de conocimientos especiales, es decir, que si se necesita comunicar más puntos con el paso del tiempo, simplemente se requiere conectar a la red eléctrica otros módulos receptores con diferentes direcciones de identificación a los módulos que ya se encuentra en la red.

# **1 JUSTIFICACIÓN**

Con la construcción de redes de comunicación o de control utilizando el protocolo X.10 se puede lograr la Transmisión de señales entre dos o más puntos remotos, con lo cual se pueden controlar diferentes dispositivos, este tipo de implementación reduce los costos de compra de equipos, materiales, mano de obra y adecuación del lugar.

Los principales beneficiarios de esta tecnología son las medianas y pequeñas empresas que no cuentan con un capital muy alto para montar las redes de comunicación convencionales, además de estas otros beneficiados son las personas que quieran controlar diferentes dispositivos en su casa sin verse obligados a cambiar la infraestructura de la misma.

Con el desarrollo de estas tecnologías en Colombia se abre paso a la investigación de este tipo de redes de transmisión, así como de los dispositivos utilizados en la implementación de la misma, por lo poco conocidos en nuestro país, por lo cual se promoverá la investigación por parte de los participantes de este proyecto, el cual nos ayudará en un futuro, y además beneficiará a la Universidad Autónoma de Occidente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar un sistema de comunicación utilizando el protocolo X.10 que permita la implementación de redes de transmisión y recepción a un bajo costo.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Obtener más de un beneficio de la red eléctrica (Alimentación, transmisión, recepción, disponibilidad, múltiples puntos de conexión).
- Establecer la comunicación de dos puntos remotos, para el intercambio de información.
- Desarrollar dispositivos electrónicos que permitan actuar como Modems.
- Construir pequeñas redes de comunicación.
- Desarrollar Driver's para utilizar el protocolo X.10 como sistema de comunicación

### 3 ANTECEDENTES

La tecnología X-10 de corrientes portadoras fue desarrollada entre 1976 y 1978 por ingenieros en Pico Electronics Ltd, en Glenrothes, Escocia. Proviene de una familia de chips, que son los resultados de los proyectos X (la serie X). Esta empresa comenzó a desarrollar el proyecto con la idea de obtener un circuito que se pudiera implementar en un dispositivo para ser controlado remotamente. Conjuntamente con la empresa de sistemas de audio BSR, se comenzaron a fabricar los dispositivos con esta última marca.

Este fue el primer módulo que podía controlar cualquier dispositivo a través de la línea de corriente doméstica (120 ó 220 v. y 50 ó 60 hz), modulando impulsos de 120 khz (ausencia de este impulso=0, presencia de este impluso=1). Con un protocolo sencillo de direccionamiento se podía identificar cualquier elemento de la red, en total 256 direcciones. El protocolo contemplaba 16 grupos de direcciones llamados "housecodes" y 16 direcciones individuales llamadas "unit codes".

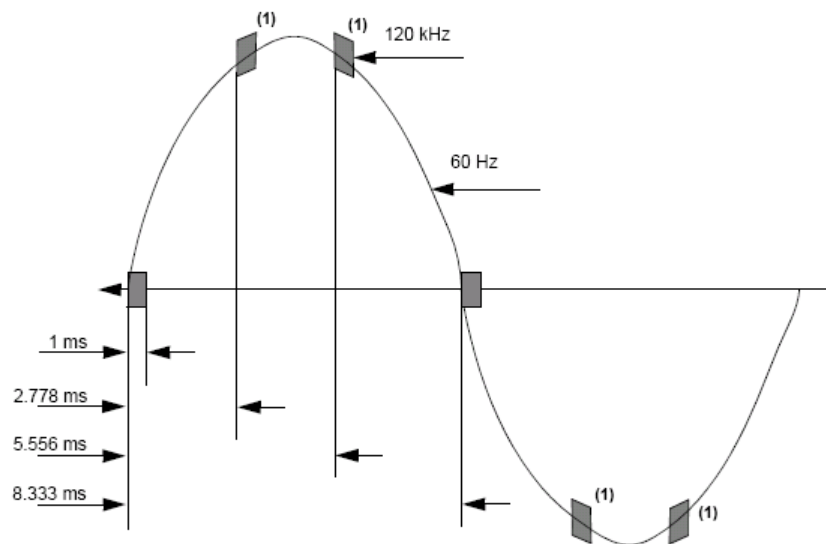
A este protocolo se le añadieron "tiras" de comandos llamados "control strings" que no son mas que ceros y unos agrupados formando comandos; en total eran 6: encendido, apagado, reducir, aumentar, todo encendido, todo apagado. Estas señales las podían recibir todos los módulos, pero sólo actuaba sobre aquel al que iba dirigida (los primeros bits de la señal eran el identificador del módulo). La frecuencia de transmisión era la de la corriente eléctrica (50 ó 60 hz), y la señal completa incluyendo dirección y función ocupaba 48 bits., o sea que para mandar una señal a un dispositivo a una frecuencia de 50 hz (en informática hablaríamos de un ancho de banda de 50 bits por segundo) se tardaría casi un segundo (si enviáramos 50 bits tardaríamos un segundo).

## 4 PROTOCOLO X-10

### 4.1 INTRODUCCIÓN

La tecnología X10 fue desarrollada a partir del año de 1976 por ingenieros de Pico Electronics Ltd en Glenrothes, Escocia. Este protocolo de comunicaciones fue diseñado para enviar señales sobre una red eléctrica de 120 VAC, usando ráfagas de 120 KHz. sincronizadas con el cruce por cero de la señal senosoidal de la red eléctrica, para representar información digital. Al monitorear los cruces por cero, los dispositivos saben cuando transmitir o cuando están recibiendo información. Un '1' binario es representado con una ráfaga de 120 kHz que dura 1 ms, cercano al cruce por cero de la línea AC. Un cero binario es representado por la falta de la ráfaga de 120 KHz. El pulso de 1 milisegundo se transmite tres veces para que coincida con cruce por cero en las tres fases para un sistema trifásico como se ve en la figura 1.

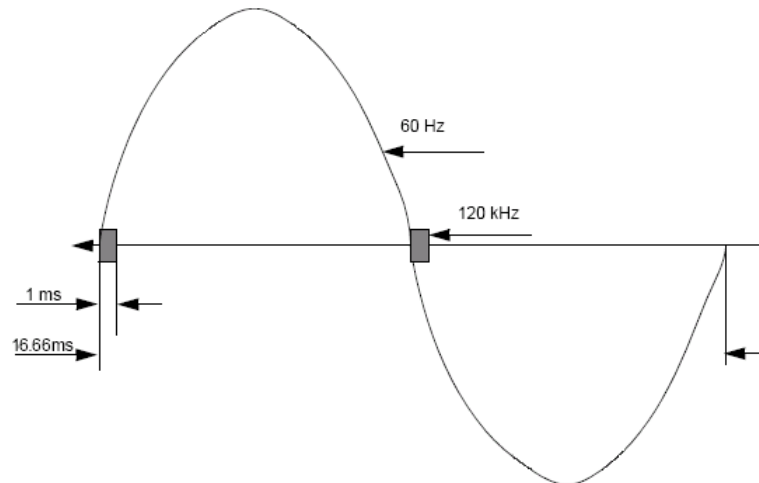
Figura 1. Envío de ráfagas en un sistema trifásico



Normalmente el protocolo X-10 se usa en sistemas monofásicos por lo cual la velocidad de transmisión se reduce con respecto a la velocidad manejada en los sistemas

trifásicos debido a que la transmisión queda reducida a tan solo dos envíos de ráfagas de 120kHz sincronizadas con el cruce por cero durante el periodo de la señal de la red eléctrica (16,66ms) como se muestra en la figura 2.

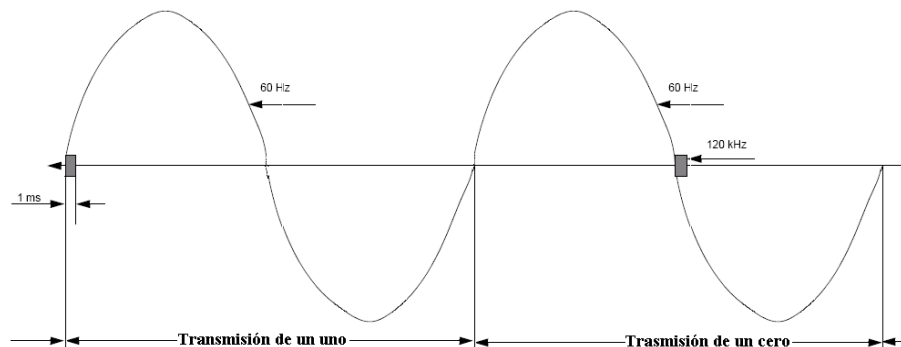
Figura 2. Envío de ráfagas en un sistema monofásico



## 4.2 MODO DE TRANSMISIÓN X-10

Con el fin de evitar errores durante el envío de información, unos (Ráfagas de 120 kHz) o ceros (Ausencia de ráfagas), el envío de estos se realiza de la siguiente manera, un uno se transmite con la inyección de una señal de 120 kHz durante 1ms en medio ciclo por lo cual no se transmitirá nada durante el siguiente medio ciclo, para el envío del cero se hace el caso contrario como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Transmisión de unos y ceros

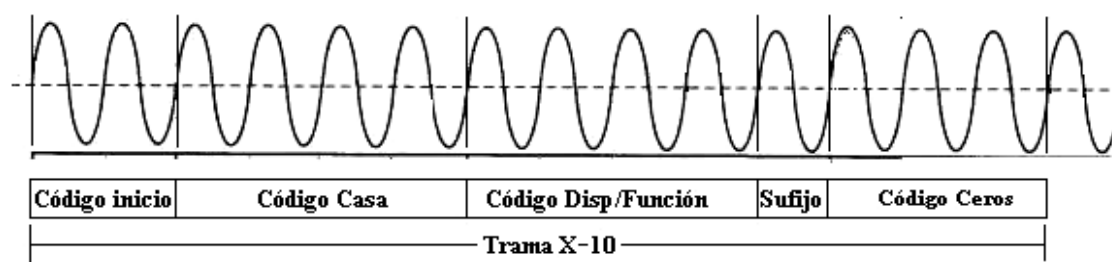




### 4.3 TRAMAS X-10

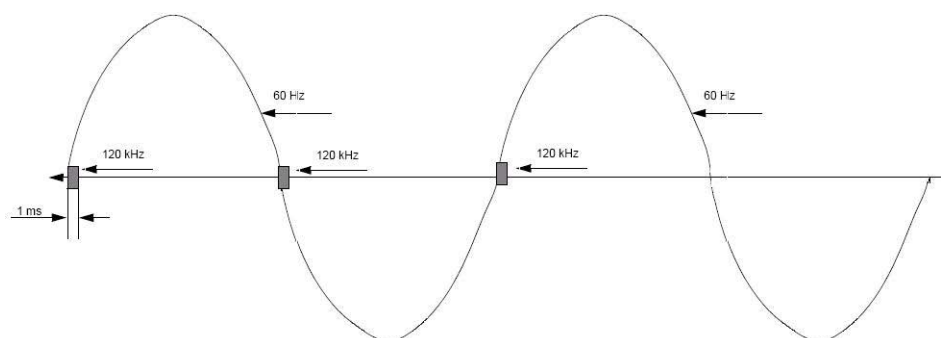
La transmisión X-10 se compone de un bloque completo de datos, este se divide en tramas de código de inicio, código de dirección, código de Dispositivo / Función, código sufijo y por ultimo se esperan seis cruces por cero, entre cada uno de los bloques de datos a transmitir. Ver figura 4.

**Figura 4. Trama X-10**



Los primeros cuatro bits identifican el campo que corresponde al inicio de la comunicación, la transmisión de este paquete es especial y esta asociado a la transferencia de la palabra (1 1 1 0), note que esta palabra se enviara de manera consecutiva, es decir, que no se hará de la forma como se muestra en la figura 3, sino de la siguiente forma:

**Figura 5. Palabra de inicio**



El campo del código de casa es transmitido durante cada mensaje y este es enviado de la forma como se muestra en la figura 3, es decir, la dirección de 4 bits es enmascarada y se convierte en una palabra de 8 bits con el fin de detectar errores durante la transmisión como se muestra figura 6. Los códigos del campo dirección de casa utilizados en el protocolo X-10 se pueden ver en la tabla 1.

**Tabla 1. Direcciones de Casa X-10**

Direcciones de Casa	Código de casa			
	H1	H2	H3	H4
A	0	1	1	0
B	1	1	1	0
C	0	0	1	0
D	1	0	1	0
E	0	0	0	1
F	1	0	0	1
G	0	1	0	1
H	1	1	0	1
I	0	1	1	1
J	1	1	1	1
K	0	0	1	1
L	1	0	1	1
M	0	0	0	0
N	1	0	0	0
O	0	1	0	0
P	1	1	0	0

**Fuente:** Notas de Aplicación AN236 ([www.microchip.com](http://www.microchip.com))

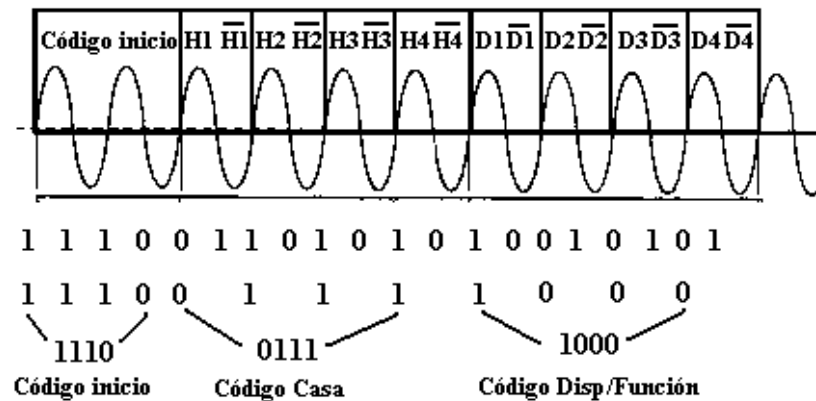
El campo código de Dispositivo / Función, es transmitido después del campo código casa este contiene el código de la unidad receptora o de la función a ejecutar, este campo es de cuatro bits pero es enmascarado de la misma forma que el campo anterior produciendo una palabra de 8 bits. Ver figura 6. Los códigos del Dispositivo / Función utilizados en el protocolo X-10 se pueden ver en la tabla 2.

**Tabla 2. Códigos Del campo Dispositivo / Función**

Dirección de Dispositivo		Códigos				
		D1	D2	D4	D8	D16
1		0	1	1	0	0
2		1	1	1	0	0
3		0	0	1	0	0
4		1	0	1	0	0
5		0	0	0	1	0
6		1	0	0	1	0
7		0	1	0	1	0
8		1	1	0	1	0
9		0	1	1	1	0
10		1	1	1	1	0
11		0	0	1	1	0
12		1	0	1	1	0
13		0	0	0	0	0
14		1	0	0	0	0
15		0	1	0	0	0
16		1	1	0	0	0
Código de Función	Apagar todas las Unidades	0	0	0	0	1
	Prender todas las unidades	0	0	0	1	1
	Prender	0	0	1	0	1
	Apagar	0	0	1	1	1
	Atenuar / Aumentar	0	1	0	0	1
	Brillo	0	1	0	1	1
	Apagar todas las luces	0	1	1	0	1
	Extensión de Código	0	1	1	1	1
	Solicitud de Función	1	0	0	0	1
	Función Reconocida	1	0	0	1	1
	Pre-Estado Atenuar / Aumentar	1	0	1	X	1
	Extensión de Código (Análogo)	1	1	0	0	1
	Estado = Encendido	1	1	0	1	1
	Estado = Apagado	1	1	1	0	1
	Solicitud de estado	1	1	1	1	1

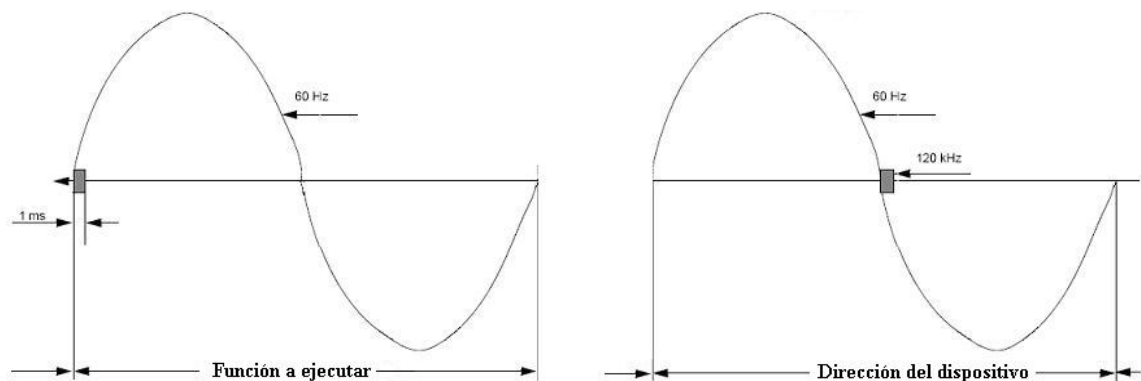
**Fuente: Notas de Aplicación AN236 ([www.microchip.com](http://www.microchip.com))**

**Figura 6. Mensaje (Código casa -- Código Disp / Función)**



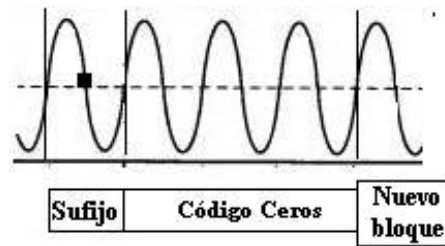
Note que en el tercer campo de la trama se hace una distinción de la palabra ha enviar, esta puede ser la dirección del dispositivo o la función que este va a ejecutar, por lo cual el siguiente campo de código será el encargado de hacer dicha distinción y es llamado Código sufijo, el cual será uno cuando se envía una función o cero cuando la trama a enviar tiene que ver con la dirección del dispositivo (Ver figura 7) y se envía de la forma como se muestra en la figura 3.

**Figura 7. Código sufijo**



Por último se esperan seis cruces por cero para mandar la siguiente trama X-10. Como se muestra en la figura 8.

**Figura 8. Bloque de ceros**



**4.3.1 Ejemplo de transmisión X-10 :** Un ejemplo para encender un modulo X-10 asignado al código de dirección A, unidad 2, el siguiente tren de datos debe ser enviado en la red eléctrica:

Primero, envió la dirección dos veces:

1110	01101001	10101001	01
INICIO	DIRECCIÓN	UNIDAD	SUFIJO
1110	01101001	10101001	01
INICIO	DIRECCIÓN	UNIDAD	SUFIJO

Seguido, esperamos por tres ciclos (seis cruces por cero):  
000000

Entonces, enviamos el comando dos veces:

1110	01101001	01011001	10
INICIO	DIRECCIÓN	ON	SUFIJO
1110	01101001	01011001	10
INICIO	DIRECCIÓN	ON	SUFIJO

Al final, esperamos por tres ciclos (seis cruces por cero) antes de enviar el siguiente bloque

000000

## 5 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN UTILIZANDO EL PROTOCOLO X.10

### 5.1 INTRODUCCIÓN

El fin de esta aplicación es dar a conocer la utilización de microcontroladores, que fácilmente pueden ser utilizados con la tecnología X-10 para crear diversas aplicaciones. En la investigación realizada se determinó que las razones principales para escoger un microcontrolador para una aplicación de este tipo debe ser, enfocada en base a la RAM y la ROM del mismo, la frecuencia de operación y periféricos. Basados en esto se escogió, y se pudo comprobar que el microcontrolador ideal es el *PIC16F1877A*, pues el microcontrolador da facilidad de generación de una onda cuadrada, 8K de memoria, lo que proporciona un amplio espacio para programación, cuenta con 332 registros disponible para el programador, con los cuales podemos manejar diferentes banderas o el almacenamiento de variables y las frecuencias de trabajo pueden llegar a ser de 20 MHz, logrando así ejecutar una instrucción cada 200 ns, que para la detección de las rafagas de 120 KHz es bastante importante, pues aproximadamente la ráfaga de 120 KHz se encuentra a unos cuantos microsegundos del cruce por cero. En el proceso de investigación, se planteo inicialmente el modulo de desarrollo de *DSP TMS329C6711* de la Texas Instruments, pero se descarto, pues este no da la facilidad de generar la ráfaga de 120KHz, debido a los Codecs que tiene conectados el modulo que limitan el rango de frecuencias de 20Hz a 4KHz, además que el costo de este (aproximadamente U\$20) es relativamente alto comparado a otros sistemas existentes, con los componentes Motorola y Atmel a los cuales tenemos acceso, no proporcionan las capacidades que el PIC ofrece, tanto en la parte de harware del dispositivo, así como el software que se utiliza para su programación y el soporte técnico que nos puede proporcionar el fabricante, por estas razones se escogió el *PIC16F877A*, pero también se puede trabajar con el *PIC16C74*, que tiene la misma configuración el nos pines de salida que el *PIC16F877A*, aunque también esta el *PIC 18F452* o cualquiera de los Pic de la familia 18 que presentan un alto desempeño, cabe decir que dependiendo de cada PIC es como se debe de modificar el código de la aplicación, estas variaciones en

realidad son muy pequeñas cuando se trata del paso del *PIC16C877A* a los PIC de la familia 18, cambios normales como el cambio del archivo linker y una que otro cambio en las posiciones de memoria. Al utilizar este tipo de microcontroladores nos da otra opción que es la de trabajar con las herramientas de desarrollo del *MPLAB ICD* y el *MPLAB ICD2* o los emuladores *IN-CIRCUIT*, con las debidas precauciones para prevenir daños en el computador.

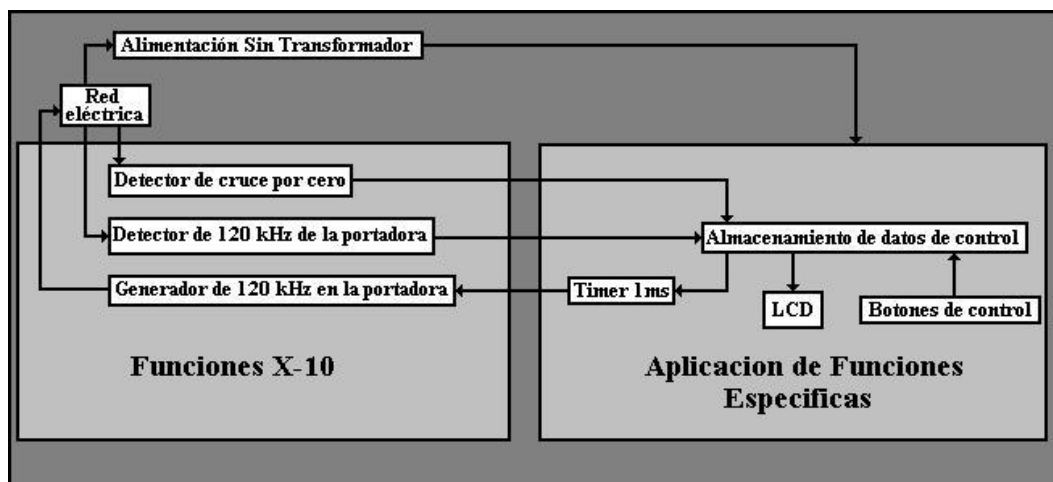
## 5.2 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

El *SISTEMA DE COMUNICACIÓN UTILIZANDO EL PROTOCOLO X.10* esta dividido en tres partes principales:

- Detector de cruce por cero.
- Generador de 120KHz en la portadora.
- Detector de 120KHz en la portadora.
- Interface con el usuario compuesta de cuatro pulsadores y un LCD de 2x16 caracteres.

### 5.2.1 Diagrama de bloques

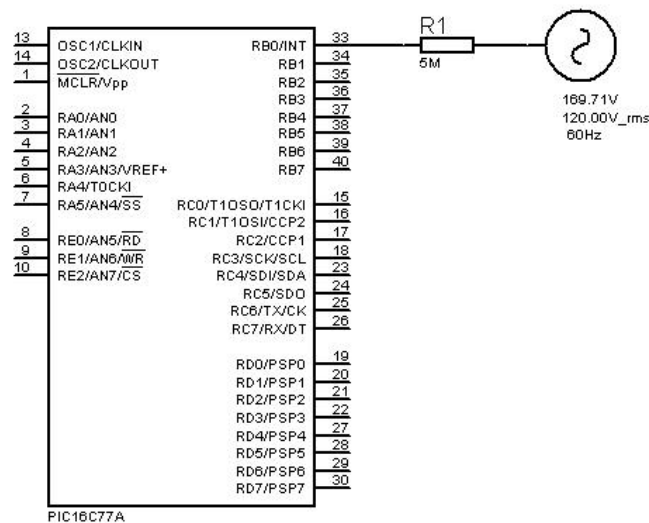
Figura 9. Diagrama de bloques del dispositivo





**5.2.2 Detector de cruce por cero:** Como se indicó en la primera parte de este trabajo el protocolo X-10 realiza el envío de información a través del cruce por cero, existen varios circuitos que permiten detectar de manera precisa este evento, este tipo de detección se puede realizar de forma más sencilla utilizando el pin RB0/INT del microcontrolador conectando a él solo una resistencia para limitar la corriente que entra al PIC. Ver Figura 10.

**Figura 10. Detector de cruce por cero**



El voltaje que suministra la red Eléctrica a todas la edificaciones es de 120V<sub>rms</sub> lo cual nos produce un voltaje pico de 169.71V, se desea trabajar con una corriente pico de 33μA, debido a que esta pertenece a los rangos de corriente que tolera el *PIC16f877A* en sus puertos de INT/OUT, además los diodos de protección diseñados dentro de los pines de entrada y salida del PIC, cortan cualquier voltaje mas alto que V<sub>dd</sub> o mas bajo que V<sub>ss</sub>. Por eso, cuando el voltaje AC esta en el ciclo negativo, el pin RB0 estará con un valor de V<sub>ss</sub>-0.6V. Esto puede ser interpretado como un cero lógico. Cuando el voltaje sube por encima del umbral de la entrada, el valor lógico llega a ser un '1'.

Con los datos anteriormente mencionados se procede a calcular la resistencia R1 (Ver figura 10).

$$I_{pico} = \frac{V_{pico}}{R}$$

$$R = \frac{169.71V}{33\mu A}$$

$$R = 5.14M\Omega \approx 5M\Omega$$

Para este circuito el pin RB0 esta configurado para interrupciones externas, y el buffer de entrada es un Schmitt trigger. Esto hace que la entrada de umbral sea de  $0.8V_{dd} = 4V$  en el flanco de subida y de  $0.2V_{dd} = 1V$  en el flanco de bajada. En cada interrupción, el bit de selección de Flanco (IES: Interrupt Edge Selec) dentro del registro OPTION\_REG es activado, así una interrupción ocurre cada cruce por cero.

Usando la ecuación

$$V = V_{pk} \times \sin(2\pi \cdot f \cdot t), \text{ donde } V_{pk} = 169.71V \text{ y } f = 60Hz$$

Calculo del  $\Delta t$  para un alto  $V = 4V$

$$4 = 169.71 \cdot \sin(2\pi \cdot 60 \cdot t)$$

$$\arcsin\left(\frac{4}{169.71}\right) = 120\pi \cdot t$$

$$t = \frac{\arcsin\left(\frac{4}{169.71}\right)}{120\pi}$$

$$t = 62.52\mu s$$

Calculo del  $\Delta t$  para un bajo  $V = 1V$

$$1 = 169.71 \cdot \sin(2\pi \cdot 60 \cdot t)$$

$$\arcsin\left(\frac{1}{169.71}\right) = 120\pi \cdot t$$

$$t = \frac{\arcsin\left(\frac{1}{169.71}\right)}{120\pi}$$

$$t = 15.63\mu s$$

Por lo cual un flanco de Subida, RB0 se pondrá en alto cerca de 62.52μs después del cruce por cero, y en el flanco de bajada, se pondrá en bajo cerca de 15.63μs antes del cruce por cero.

### 5.2.3 Generación de onda de 120 KHz

**5.2.3.1 Cálculo del PWM :** La generación de la onda de 120 KHz, se realiza utilizando la función de PWM, encontrada en el dispositivo 16f877A utilizado para el proyecto, el periodo PWM es especificado al darle un valor al registro PR2, el periodo del PWM puede ser calculado usando la siguiente formula.

$$\text{Per. PWM} = [(PR2) + 1] \times 4 \times T_{osc} \times (\text{Valor de pre - escalamiento de TMR2})$$

donde  $T_{osc}$ , es el periodo del oscilador es decir el inverso de la frecuencia del oscilador conectado al PIC, PR2 es el valor del registro PR2 y el valor de pre-escalamiento de TMR2 es la escala manejada por el Timer 2 del PIC 16f877A dando el resultado en unidades de tiempo.

Para el proyecto utilizamos un oscilador de cuarzo de 10 MHz y tomando un pre-escalamiento de 1 para el Timer 2.al reemplazar estos valores tenemos:

$$\frac{1}{120 \times 10^3} = [(PR2)+1] \times 4 \times \frac{1}{10 \times 10^6} \times 1$$

despejamos PR2+1

$$[(PR2)+1] = \frac{\frac{1}{120 \times 10^3}}{4 \times \frac{1}{10 \times 10^6}} = \frac{8.3\bar{3}}{4 \times 1 \times 10^{-7}} = 20.83\bar{3} \approx 21$$

despejando PR2 obtenemos

$$[(PR2 + 1)] = 21$$

$$PR2 + 1 = 21$$

$$PR2 = 20$$

pasando el 20 a valor hexadecimal es 14H.

La frecuencia del PWM ( $F_{PWM}$ ) es definida como  $\frac{1}{\text{Per. PWM}}$

el cumplimiento del ciclo del PWM es especificado al escribir al registro CCPRxL y a los bits CCPxX y CCPxY del registro CCPxCON<5:4>, lo que nos da una capacidad de 10 bits los cuales se dividen en los 8 bits más significativos en el registro CCPRxL y el registro CCPxCON en los bits 5 y 4 contiene los dos bits menos significativos. Estos diez bits se representan como DCxB9:DCxB0. La siguiente ecuación se utiliza para calcular el ciclo de cumplimiento del PWM

$$\text{Ciclo PWM} = (DCxB9 : DCxB0 \text{ valor en bits}) \cdot T_{osc} \cdot (\text{valor de pre - escalamiento del TMR2})$$

en unidades de tiempo

Al calcular los valores para DCxB9:DCxB0 tenemos:

$$\frac{1}{\frac{120 \times 10^3}{2}} = (DCxB9 : DCxB0) \times \frac{1}{10 \times 10^6} \times 1$$

$$\frac{8.33 \times 10^{-6}}{2} = (DCxB9 : DCxB0) \times 10 \times 10^{-6} \times 1$$

despejando DCxB9:DCxB0 obtenemos:

$$(DCxB9 : DCxB0) = \frac{8.33 \times 10^{-6}}{2 \times 10 \times 10^{-6}} = 41.6 \approx 42$$

al convertir el número 42 a binario tenemos b'101010', pero recordemos que los dos últimos bits pertenecen a los bits 5 y 4 del registro CCPxCON y el resto se toma para el registro CCPR1L entonces

1010		10
CCPR1L		CCP1CON

Los bits DCxB9:DCxB0 pueden ser escritos en cualquier momento, pero el valor del ciclo de cumplimiento no se toma dentro del registro CCPxH hasta que el acople ocurra entre los registros PR2 y TMR2 (el cual es el fin del periodo actual). En el modo PWM, el registro CCPRxH solo funciona en modo de lectura.

La máxima resolución del PWM (en bits) está dada por la frecuencia del PWM

$$\text{Resolución} = \frac{\log\left(\frac{F_{osc}}{F_{PWM}}\right)}{\log(2)}$$

dando el resultado en bits

$$\text{Resolución} = \frac{\log\left(\frac{10 \times 10^6}{120 \times 10^3}\right)}{\log(2)} = 6,38 \approx 6 \text{ bits}$$

**5.2.3.2 Cálculo del timer 0:** La señal de 120 kHz es introducida a la red cada vez que ocurre la interrupción en el pin RB0/INT, pero esta solo se inyectará durante 1ms después de que ocurra el cruce por cero, para lograr esto se configura el Timer 0 a manera que la bandera de sobre flujo se active cada vez que este cuente 1ms.

A continuación se procede a realizar el calculo del Timer 0 con tiempo de duración de 1ms:

$$\frac{1}{\frac{F_{osc}}{4}} \cdot (\text{Valor de pre - escalamiento de TMR0}) \cdot (FF - preload) = \text{Tiempo}$$

$$\frac{1}{\frac{10 \times 10^6}{4}} \cdot (16) \cdot (255 - preload) = 1 \times 10^{-3}$$

$$(255 - preload) = \frac{1 \times 10^{-3}}{\frac{1}{\frac{10 \times 10^6}{4}} \cdot (16)}$$

$$(255 - preload) = 156.25 \approx 156$$

$$preload = 255 - 156$$

$$preload = 99$$

pasando el 99 a valor hexadecimal es 63H.

**5.2.3.3 Circuito para inyectar la señal de 120 kHz a la red eléctrica:** La señal de 120 kHz es generada por el PWM interno del PIC16f877A y es extraída por el pin RC3/CCP, como se muestra en la figura 11, esta señal es inyectada a la red durante 1 ms a través del transistor Q1 (cuya función es incrementar la corriente del pin de salida del PIC) y un filtro pasa altas el cual permite que la señal de 120 kHz se introduzca en la red eléctrica y a su vez impida el paso de la señal de 60Hz (frecuencia de la red) hacia el circuito generador de la señal a inyectar, esto se puede ver mas claro si aplicamos la siguiente formula:

$$Z_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Calculo de  $Z_C$  a una frecuencia de 120 kHz:

$$Z_{C120kHz} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 120 \times 10^3 \cdot 0.1 \times 10^{-6}}$$

$$Z_{C120kHz} = 13.26\Omega$$

Calculo de  $Z_C$  a una frecuencia de 60 Hz:

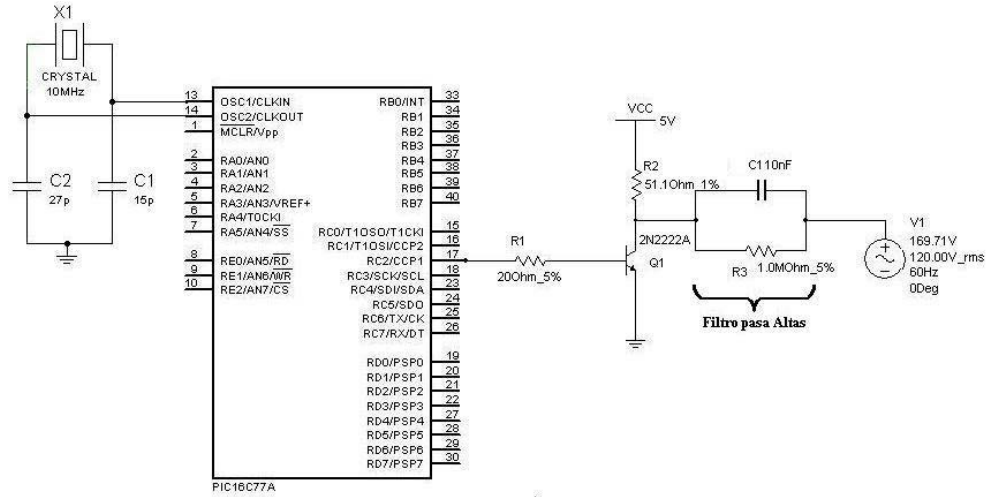
$$Z_{C60Hz} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 0.1 \times 10^{-6}}$$

$$Z_{C60Hz} = 26525.82\Omega \approx 27k\Omega$$

En los resultados anteriores se ve claramente que la impedancia que muestra el capacitor (C1 Ver figura 11) a la frecuencia de 120 kHz y 60 Hz es de diferente valor, para la frecuencia de 120 kHz la impedancia es de 13.26  $\Omega$  por lo cual no hay una gran perdida de dicha a señal, en cambio a la frecuencia de 60 Hz la impedancia es mayor 27k $\Omega$  por lo cual esta señal se atenúa y no se introduce al circuito generador, es decir, el filtro pasa altas se comporta como un circuito de desacople entre la red eléctrica y el microcontrolador, y para recortar el valor del voltaje se conectaron dos diodos zener de

5.1 voltios en posición inversa uno de otro para reducir el voltaje a unos 6 voltios aproximadamente.

**Figura 11. Generador de señal de 120 kHz**



**5.2.4 Detector de onda de 120 kHz:** Para poder recibir señales X-10 es necesario detectar la presencia de una señal de 120KHz sobre la señal de la red eléctrica, esto se logra conectándose a la red a través de un capacitor de desacople y un filtro pasa banda. Ver figura 13. El capacitor de desacople cumple la misma función que el filtro pasa altas, lo que sirve como refuerzo al filtro al que va conectado, este capacitor es utilizado en el circuito para inyectar la señal de 120 kHz a la red eléctrica ya que la impedancia de este varía de acuerdo a la frecuencia como se muestra en la siguiente formula:

$$Z_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Los valores de  $Z_c$  fueron calculados anteriormente y no varían debido a que las frecuencias con las que se trabaja permanecerán constantes.

Como la señal de 120 kHz es más alta en frecuencia que la señal de la red eléctrica (60 Hz), y por lo alto en frecuencia de la señal de envío, es posible poder confundirla con una señal de ruido (del orden de los cientos de KHz), por tal motivo, se utilizó un filtro

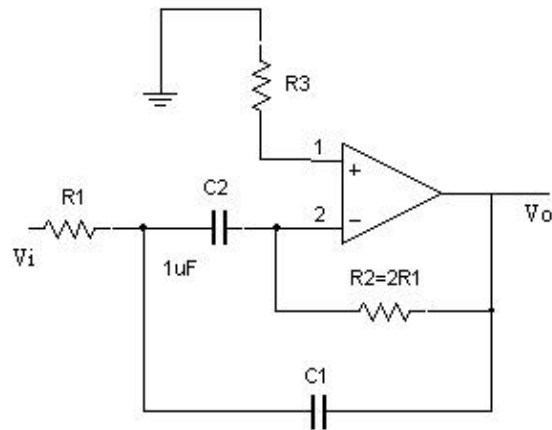


pasa banda, para que este excluya tanto la señal de 60 Hz de la red así como las señales de alta frecuencia de las señales de ruido que se pueden filtrar en la red. Así mismo se vio la necesidad de tener un amplificador de la señal, pues entre más distancia recorra la señal, su recepción será mas débil (de los datos obtenidos en laboratorio, se observó una reducción en la señal a partir de los 5 mts de distancia), de esta forma tomamos la funcionalidad de los amplificadores operacionales, para configurarlos como filtro pasa banda, que nos proporciona la solución a ambas necesidades, pues configurando un amplificador como filtro pasa banda, obtengo además del filtro, una ganancia con respecto a la señal recibida, y a su vez entre mayor sea la ganancia, mas “selectivo” llega a ser el filtro con respecto a la señal de entrada, pues su ancho de banda se vuelve más angosto el cual permita el paso de la señal X-10 y a su vez atenué completamente la señal de 60 Hz.

El amplificador operacional utilizado para este filtro, es un amplificador operacional de alta frecuencia, pues un amplificador operacional de propósito general no logra oscilar a tan altas frecuencias, pruebas realizadas con amplificadores operacionales LM741, mostraron que el amplificador lograba oscilar hasta los 30 KHz, sin reducir la ganancia de la configuración, es decir que si el amplificador se configuraba con una ganancia de 20, al llegar la señal de entrada a los 30 KHz, la ganancia toma unos valores de alrededor de 12 y entre mas alta fuera la frecuencia, mas reducida era la ganancia, por eso se utilizó el amplificador operacional LM318, que cumple con las necesidades requeridas para el circuito. Después de conectado el filtro se pudo comprobar el funcionamiento del dispositivo en distancias de 70 mts, no se hicieron pruebas de mayor distancia pues no se contó con un lugar de prueba que nos asegurara una mayor distancia.

Para el diseño del amplificador, se toma la configuración que se muestra en la figura 12.

**Figura 12. Filtro pasa banda**



Por lo grande de la señal y su diferencia con respecto de la red, se utilizará un filtro pasa banda de segundo orden, pues este solo utiliza un amplificador operacional, que nos ahorra espacio y logra el cometido de suprimir la onda de 60 Hz. Se escogen condensadores de bajo valor como máximo 10 nf para que logre oscilar sin modificar la señal de entrada, es decir que logra una carga y una descarga tan rápido como la señal de 120 KHz lo exija, para el caso de nosotros se escogió un condensador de 100 pf y una frecuencia de corte de 120 Khz, con los cuales podemos calcular el valor de la resistencia para obtener un  $\tau$  adecuado para el sistema, al reemplazar esto en la siguiente ecuación:

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot C}$$

Donde  $f_r$  representa la frecuencia de corte y C el valor de los condensadores, reemplazando en la ecuación los valores antes mencionados obtenemos

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 120 \times 10^3 \cdot 100 \times 10^{-9}}$$

$$R = 13.2\Omega$$

luego se toma un valor de ganancia de 5 ( $Q = 5$ ), para obtener un ancho de banda de un valor de 48 KHz y una ganancia de  $-50$ , pues la señal, llega a tener valor de milivoltios, dependiendo de lo lejano que se encuentre el receptor.

Este valor es utilizado para aplicarlo en las formulas mencionadas en el Anexo C. Con lo cual obtenemos los valores para las resistencias R1, R2, y R3

$$R_1 = \frac{R}{2Q}$$

$$R_1 = \frac{13K\Omega}{2 \cdot 5} = 1.3K\Omega$$

$$R_2 = 2 \cdot Q \cdot R$$

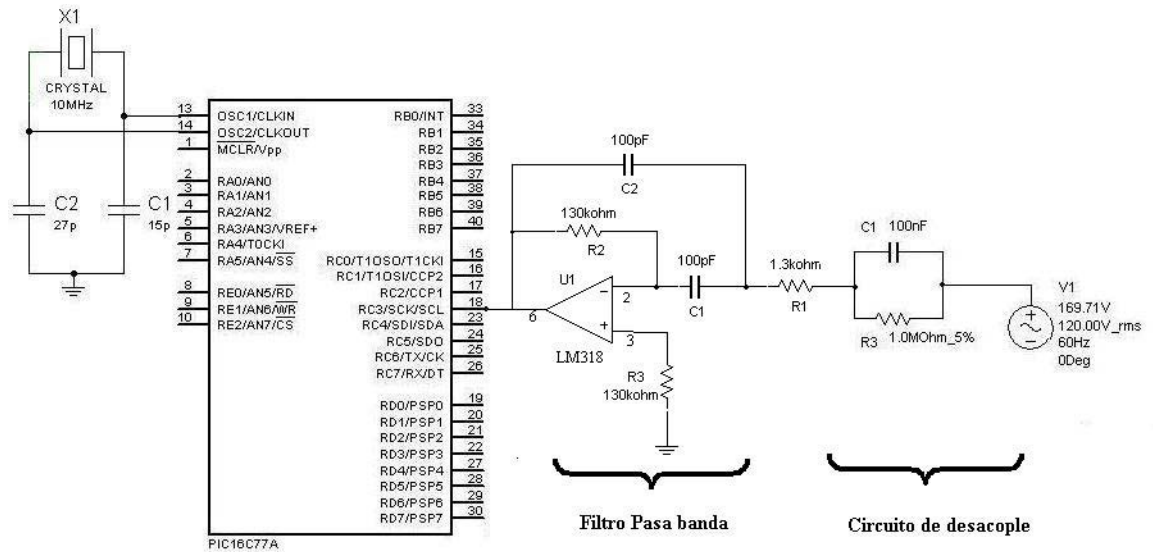
$$R_2 = 2 \cdot 5 \cdot 13 \times 10^3$$

$$R_2 = 130 \times 10^3 = 130K\Omega$$

$$R_2 = R_3$$

$$R_3 = 130 \times 10^3 = 130K\Omega$$

**Figura 13. Detector de señal de 120 kHz**



**5.2.5 Modulo LCD:** Un LCD de 2x16 es usado tanto en el modulo emisor (Modulador) como en el modulo receptor (De modulador), para observar cada uno de los mensajes de control Ver apéndice 1. Ocho líneas de datos y tres de control son usadas como interface con el microcontrolador, el LCD es controlado totalmente por el PIC por lo cual se tubo que diseñar cada una de las rutinas básicas de control para este dispositivo, rutinas como inicialización, envío de palabra de control y envío de palabra de datos. Además el LCD esta configurado en modo de escritura debido a que no se necesita extraer datos de él.

**5.2.6 Botones de control:** Cuatro pulsadores están conectados al puerto B en los pines RB4-RB7, estos son usados para que el usuario interactué con la aplicación (Configuración básica).

**5.2.7 Diagrama de como se encuentra dividido el sistema en el PIC16f877A:** A continuación se presenta una pequeña tabla de cómo esta establecido cada uno de los pines utilizados en el PIC16F877A para lograr la implementación del sistema de transmisión utilizando el protocolo X-10.

**Tabla 3. Descripción de como están siendo utilizados los pines del PIC16F877A**

<b>Fuente</b>	<b>Función</b>	<b>Descripción</b>
Interrupción Externa en RB0	Detección de cruce por cero	Genera una interrupción cada cruce por cero.
CCP1/Timer2 en modo PWM	Modulación de 120 kHz. Oscilador principal de 10 MHz.	TRISC es usado para habilitar/deshabilitar la salida de 120kHz.
Interrupción de Timer0	Tiempo de la señal de 120 kHz	Tiempo durante el cual la señal de 120 kHz es extraída del LCD
PORTB<4:7>	Entradas de los pulsadores	4 botones son usados para poder acceder a los diferentes menús
PORTD<0:7>	Pines de datos del LCD	Son usados para enviar 8 bits de datos al LCD
PORTE<0:2>	Pines de control del LCD	Son usados para enviar 3 bits de datos al LCD
PORTC<3>	Pin de Rx	Es usado para recibir las señales X-10
PORTC<2>	Pin de Tx	Es usado para transmitir señales X-10
PORTC<4>	Pin de selección	Se utiliza con el fin de seleccionar cuando el sistema va actuar como modulador o demodulador.
PORTC<7>	Pin de Control	Se utiliza con el fin de enviar señales al dispositivo conectado al modulo receptor

**Fuente: Resultados de la etapa de diseño.**

**5.2.8 Alimentación sin transformador:** En la mayoría de las aplicaciones que no utilizan baterías, la alimentación del microcontrolador, normalmente se proporciona usando un transformador montado a la conexión en la pared, el cual es rectificado, filtrado y regulado. En la mayoría de las aplicaciones, este método de generar el voltaje regulado, es justificado el costo y puede ser justificado. Sin embargo, en esta aplicación el PIC 16 es el controlador principal y un voltaje bajo, no es requerido por otros componentes excepto el PIC 16. En este caso, el costo del transformador llega a ser la parte costosa del sistema. La alimentación sin transformador, tiene una ventaja que resalta en costo así como en tamaño. Las desventajas de usar una alimentación sin transformador son:

- Baja corriente de alimentación (de 10 a 25 miliamperios)
- No hay isolación de la línea de voltaje AC

El microcontrolador PIC 16 tiene un máximo de 10mA, aun operando en la mas alta frecuencia y voltaje, agregándole a esto los demás dispositivos como el LCD, el amplificador y los componentes tanto resistencias como condensadores utilizados, el dispositivo consume 20 mA por la alimentación positiva y 1 mA por su parte negativa, es por eso que la viabilidad de la baja corriente no es un problema. La isolación de la línea de voltaje Ac puede ser lograda con supresores de transientes en el PIC 16.

**5.2.8.1 Implementación :** Cuando un capacitor y una resistencia son conectadas en serie a una fuente AC, una corriente constante puede ser mantenida a través de la resistencia, así la reactancia del capacitor es mucho mas grande que la de la resistencia. La corriente que fluye depende del valor del capacitor y asumiendo que  $V_1$  es mucho mas grande que  $V_2$ , el valor de la corriente puede ser asumida como:

$$I_{RMS} = \frac{V_1}{X_C}$$

donde  $X_C$  es la reactancia del capacitor

Asumiendo que la línea de voltaje de  $V_1 = 115$  y la frecuencia es de 60 Hz

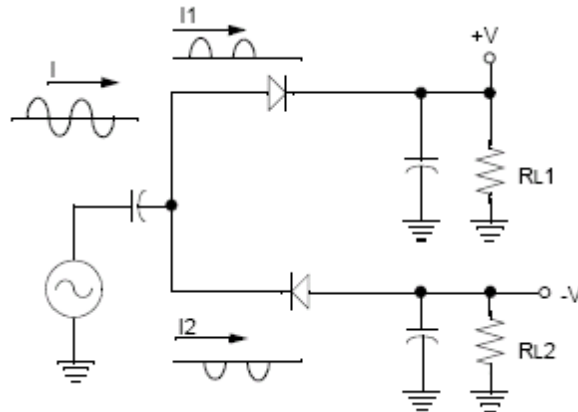
$$I_{RMS} = 115 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot C)$$

$$I_{RMS} = 4300C \approx 40 \frac{mA}{\mu f}$$

Con el fin de obtener un voltaje DC usando este sistema, un par de rectificadores y filtros pueden ser adicionados, Esto nos dará la capacidad de manejar la mitad de la corriente a través de la parte positiva y la otra mitad a través de la parte negativa. La máxima corriente de cada lado será de  $= 20 \text{ mA}/\mu\text{F}$ . En las pruebas realizadas en laboratorio se tuvo como resultado que por cada  $\mu\text{f}$  se obtenían 7mA, lo que obligo a la utilización de dos condensadores de  $2.25 \mu\text{f}$ , para proporcionar una corriente suficiente como para el buen comportamiento del dispositivo.

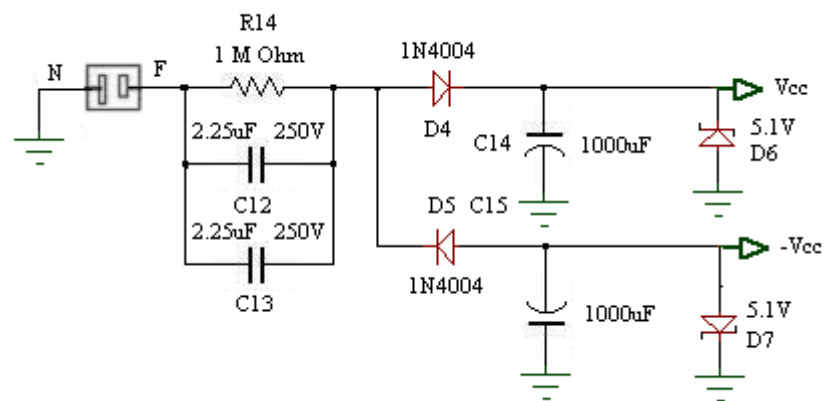
En la mayoría de las aplicaciones, el voltaje de salida debe ser regulado, la figura 14 muestra un diagrama de un circuito practico donde una salida de 5V y otra de  $-5\text{V}$  es generada.

**Figura 14. Rectificación de onda sin transformador**



Para esta aplicación, ambos voltajes se requieren constantes por esta razón utilizamos dos diodos zener que fijan los valores de los voltajes a 5.1V y  $-5.1\text{V}$ , es por esto que la figura anterior es modificada para proporcionar la corriente necesaria como se muestra en figura 15.

Figura 15. Fuente de 5V y -5V sin transformador





## 5.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

**5.3.1 Descripción de las funciones realizadas por el sistema:** Las funciones que se implementaron en el sistema de transmisión utilizando el protocolo X-10 varían según como este configurado el dispositivo, este puede ser configurado como modulo transmisor o modulo receptor, más adelante se explica como hace el dispositivo para diferenciar dicho parámetro de funcionamiento.

Cuando el dispositivo este configurado como modulo transmisor la función de este es enviar las tramas X-10 desde él hasta cada uno de los dispositivos receptores que estén conectados sobre la misma fase (120 VRMS 60Hz), cada uno de los dispositivos receptores poseen una dirección que los diferencia del resto de los módulos que cumplen su misma función, para este caso solo se implementaron funciones de encendido y apagado del aparato o instrumento a manipular a través del circuito receptor Ver tabla 4, se implementaron en los módulos dos funciones simplemente para mostrar que la transmisión X-10 cumple con la transmisión y la recepción, funciones básicas en un sistema de transmisión, si se desean implementar mas funciones, el sistema es flexible a dichos cambios simplemente aumentando la tabla de funciones que se encuentra almacenada en la memoria del PIC16F877A.

**Tabla 4. Funciones del dispositivo.**

Función del dispositivo	Código de función				
<b>Prender</b>	0	0	1	0	1
<b>Apagar</b>	0	0	1	1	1

Para lograr que cada uno de los circuitos receptores reciban cada una de las ordenes en viadas por el modulo transmisor se debe enviar la dirección del dispositivo destino (Ver tabla 5) para que solo este procese la información enviada y realice la función ordenada desde el modulo que lo controla en ese instante.

**Tabla 5. Direcciones de los dispositivos receptores.**

Dirección de Dispositivo	Códigos				
	D1	D2	D4	D8	D16
1	0	1	1	0	0
2	1	1	1	0	0
3	0	0	1	0	0
4	1	0	1	0	0
5	0	0	0	1	0
6	1	0	0	1	0
7	0	1	0	1	0
8	1	1	0	1	0
9	0	1	1	1	0

El sistema receptor posee la función de elegir la dirección con la cual el se va a identificar y diferenciar en la red de los otros módulos conectados a ella (Ver tabla 5), también es el encargado de traducir cada una de las tramas X-10 enviadas hacia él desde el modulo transmisor, con el fin de enviar señales de control hacia el aparato conectado a él para lograr su encendido o apagado en un instante determinado.

### **5.3.2 Descripción de cada una de las funciones que conforman el**

**software:** El desarrollo del software de esta aplicación se llevo a cabo utilizando el programa de simulación MPLAB Versión 6.43 que permitió la simulación y programación del PIC16F877A, se utilizo esta versión porque versiones anteriores a él no permitían la programación de dicho PIC por la falta de bibliotecas u otras librerías que si están presentes en la versión seleccionada.

**5.3.3 Inicio del programa:** Al comienzo del programa el sistema tiene que realizar cada una de las funciones que tienen que ver con inicialización y configuración, es decir, funciones de inicialización de variables, deshabilitar interrupciones, configuración de los puertos y rutinas para la inicialización del LCD.

**5.3.3.1 Inicialización del sistema:** El sistema asigna un valor a cada una de las variables (Ver tabla 6), con el fin de hacer una función determinada que le permitirá a el tomar decisiones en un momento determinado según el valor de dicha variable.

**Tabla 6. Funciones de las variables del sistema**

<b>VARIABLES</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>FUNCION</b>
i n d i c e	EQU 0x20	Permite desplazarse entre las tablas de mensajes
cualmensa	EQU 0x21	Indica el mensaje a imprimir
TempA	EQU 0x22	Guarda el valor de el dato a enviar al LCD
retardo	EQU 0x24	Permite un pequeño retardo entre la instrucciones a enviar al LCD
Tecla	EQU 0x26	Almacena el valor del boton pulsado por el usuario
estado	EQU 0x27	Contiene el valor del estado en que se encuentra en el sistema
puerto	EQU 0x28	Captura el valor del puerto B
retardo1	EQU 0x29	Permite un pequeño retardo entre la instrucciones a enviar al LCD
Numero	EQU 0x2A	Almacena la dirección del dispositivo seleccionado por el usuario
ultima	EQU 0x2B	Variable para habilitar por ultima ves el Enter
Enviar	EQU 0x2C	Valor de la palabra a enviar
cantenvio	EQU 0x2D	Contiene la cantidad de bits de la palabra a enviar
cantinicio	EQU 0x2E	Contiene la cantidad de bits de la palabra inicio
estadoenvio	EQU 0x2F	Contiene el valor del estado de la transmisión
Cantfin	EQU 0x30	Contiene la cantidad de bits de la palabra fin
cantsufijo	EQU 0x31	Contiene la cantidad de bits de la palabra sufijo
funciones	EQU 0x32	Contiene el valor de la función a realizar
datoscontrol	EQU 0x33	Selecciona cuando mandar sufijo de dirección o función
T_TMR	EQU 0x34	Permite un pequeño retardo de 1s
TX_RX	EQU 0x35	Seleccionar entre el dispositivo Transmisor o receptor
Casa	EQU 0x36	Contiene la dirección de la casa a enviar la trama
Bits	EQU 0x38	Contiene el valor de los bits a recibir
Palabra	EQU 0x39	Almacena el valor de la palabra a recibida
Tipalab	EQU 0x40	Contiene información de que tipo de palabra se recibió
Valant	EQU 0x41	Contiene el valor del bit recibido
Valres	EQU 0x42	Almacena el valor recibido
Palinicio	EQU 0x44	Contiene el valor de la palabra inicio
Codigo	EQU 0x45	Almacena el valor del dispositivo o la función a realizar
Dirconfir	EQU 0x46	Confirma la que la dirección de casa sea la correcta

En la distribución de los puertos se configuran desacuerdo a como van a actuar estos dentro del sistema, es decir, pueden ser utilizados como entrada o salida Ver Tabla 7.

En la aplicación del sistema de comunicación utilizando el protocolo X-10 el único puerto que tiene funciones de entrada y salida es el Puerto C debido a que de este se captura y se entregan señales en un instante determinado, estas señales tienen que ver con el envío y detección de ráfagas de 120 kHz, obtención del parámetro de configuración del sistema (Transmisor o Receptor) y envío de señales de control al dispositivo externo a controlar, el Puerto A no posee una función en especial dentro de la aplicación, el Puerto B se utiliza para capturar cada una de las interrupciones externas hacia el sistema, el Puerto D se maneja para enviar los datos hacia el LCD y el Puerto E se utiliza para enviar las señales de control hacia el LCD.

**Tabla 7. Distribución de los puertos**

<b>PUERTOS</b>	<b>FUNCION</b>
Puerto A	No se utiliza
Puerto B	Entrada
Puerto C	Entrada/salida
Puerto D	Salida
Puerto E	Salida

Después de realizar cada una de las inicializaciones, el sistema tiene que revisar como debe trabajar, es decir, si va a trabajar como un dispositivo receptor o un dispositivo transmisor esto lo hace revisando el pin RC4 (Ver figura 16), después de ver el estado de dicho pin el sistema hace las asignaciones correspondientes según el modulo seleccionado por el usuario y que tiene que ver en la forma como operara el sistema. Ver figura 17, si el modulo seleccionado es el transmisor el sistema deberá configurar el PWM a manera de que este tenga una frecuencia de 120 kHz con el fin de enviar ráfagas hacia la red durante 1 ms, este tiempo se mide utilizando el Timer 0 del PIC16F877A, y por último se activan las interrupciones de cambio en el puerto B para esperar las ordenes del usuario, en caso contrario de que el modulo seleccionado fuese el modulo receptor el sistema solo configurara el Timer 1 para que este entre en funcionamiento cada ves que ocurre una interrupción externa (De cruce por cero) par esperar durante 1 ms la ráfaga de 120 kHz enviada desde el modulo transmisor y por

ultimo se activan todas las interrupciones externas tanto la de cruce por cero como las de cambio del Puerto B esta para esperar las ordenes del usuario.

#### **5.3.3.2 Funcionamiento de las interrupciones como modulo transmisor:**

Cuando ocurre la interrupción externa de cruce por cero el sistema deberá enviar la trama X-10 hacia red eléctrica para que sea capturada por el dispositivo receptor, como se mencionó en el capitulo anterior el envío y la detección de cada ráfaga (envío de un uno) o la ausencia de ella (envío de un cero), se hace cada cruce por cero de la señal de 60 Hz (red eléctrica), es decir, que cada vez que ocurre una interrupción externa el sistema deberá enviar una ráfaga o no según la información a enviar hacia el destino, esto se hace de la siguiente manera, después de que ocurre la interrupción de cruce por cero el sistema obtiene el valor de PCL (dirección baja del contador de programa), esto para saltar a otras direcciones según el estado de la trama de información a enviar, el estado de la trama a enviar tiene que ver con la variable estadoenvio la cual hará un desplazamiento en la dirección a la cual esta apuntado el contador de programa (PCL) si estadoenvio vale 0 el programa apuntara a la función en la cual se envía la palabra inicio, si estadoenvio vale 1 apuntara a la función donde se envía la dirección de la casa, si estadoenvio vale 2 el PCL apuntara a la función donde se envía la dirección del dispositivo o la función a realizar por parte del dispositivo receptor, si estadoenvio vale 3 el sistema enviara la palabra sufijo correspondiente en ese instante y por ultimo si estadoenvio vale 4 se envían 6 ceros para finalizar el envío de la trama X-10 como se ve en la figura 19.

Si ocurre la interrupción de Timer 0 el sistema desactiva el pwm porque ya ha transcurrido el tiempo de envio de la ráfaga de 120 kHz y desactiva su conteo (Ver figura 18), cave resaltar la activación del Timer 0 empieza cada vez que ocurre una interrupción externa.

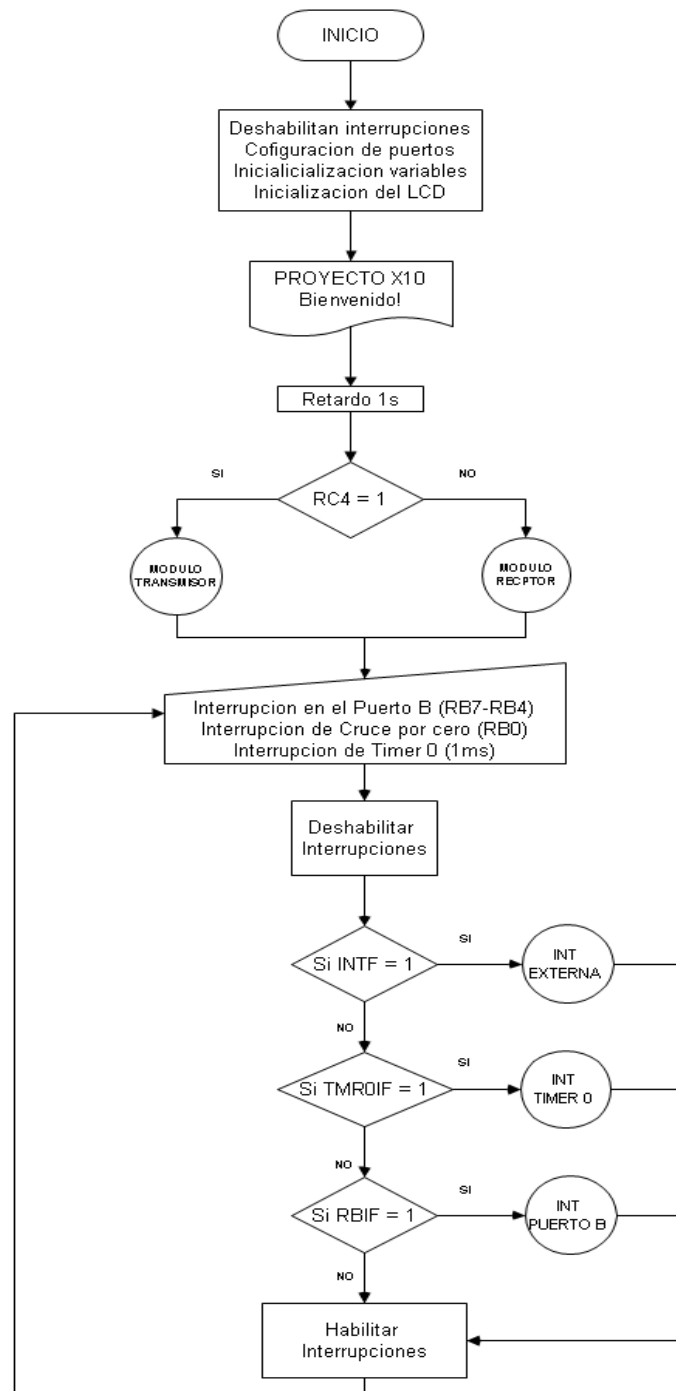
Si ocurre las interrupciones del cambio del puerto B es porque el usuario a decidido configurar el sistema, esto se puede ver en la figura 21, esta parte se puede ver más en profundidad en el anexo A.

**5.3.3.3 Funcionamiento de las interrupciones como modulo receptor:** Si el dispositivo esta configurado como receptor la interrupción externa estará activa desde el momento de la inicialización del sistema esperando a que llegue la trama de datos de información X-10, el estará esperando por un 1 (ráfaga de 120 kHz) durante 1ms, si transcurrido este tiempo no se detecto dicho valor el dato capturado será considerado como un 0, es decir, que si la bandera de sobre flujo del Timer 1 (TMR1IF = 1) ya ha transcurrido 1 ms después de la interrupción de cruce por cero (Ver figura 20), si durante este tiempo el valor en RC3 es 1 el sistema habrá detectado un uno por lo cual seteara el bit 6 de tipalab el cual le dirá al sistema que recibió un uno, luego de esto el sistema pasara al siguiente estado y empezara a comprobar que tipo de palabra esta recibiendo si el bit 0 de tipalabra es uno el sistema pasara al siguiente estado, es decir, que el dispositivo ya recibió la palabra inicio correctamente y esperara por la palabra casa, si el bit uno de tipalab esta seteado es porque el sistema ya recibió la dirección de casa correcta de lo contrario inicializara las variables a modo de que vuelva a esperar por la palabra inicio, si el bit 1 tipalab esta seteado el sistema ha empezado a recibir la dirección de dispositivo o esta recibiendo la función a operar, cuando el dispositivo recibe el sufijo es aquí donde comprueba la dirección del dispositivo si se ha recibido sufijo de dirección, si la dirección del dispositivo es correcta espera la segunda trama que tiene que ver con la función a realizar si en caso contrario la dirección es incorrecta el sistema esperara la nueva la trama, si el sufijo recibido es de control y la dirección de dispositivo se confirmo como correcta el dispositivo manipulara el bit 7 de el Puerto C para controlar el encendido o el apagado de un aparato conectado a el en ese pin a través de un rele de estado sólido (Ver figura 20), por ultimo el sistema después de recibir toda la trama espera por otra trama X-10 que traerá la información de la nueva función a realizar por el dispositivo receptor, lo cual implica la inicialización de cada una de las variables que tienen que ver con este proceso.

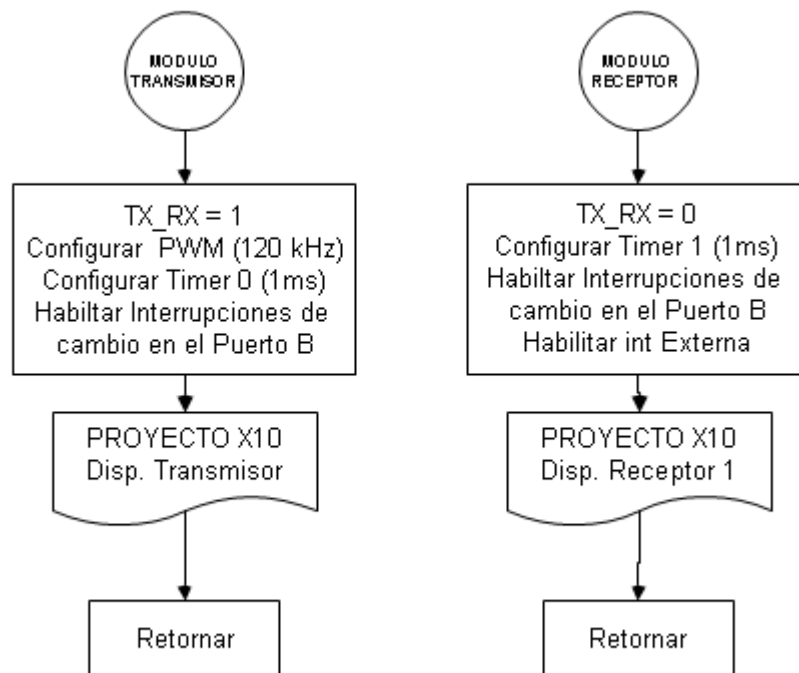
Si ocurre las interrupciones del cambio del puerto B es porque el usuario a decidido configurar el sistema, esto se puede ver en la figura 21, esta parte se puede ver mas profunda en el anexo A.

### 5.3.4 Diagramas de flujo del software desarrollado

Figura 16. Diagrama de flujo básico del sistema



**Figura 17. Diagrama de flujo modulo Transmisor/Receptor**



**Figura 18. Diagrama de flujo modulo Interrupcion Timer 0**

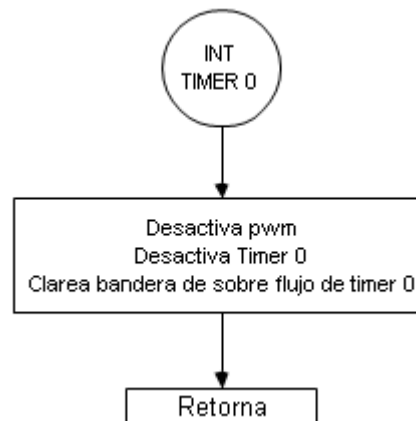
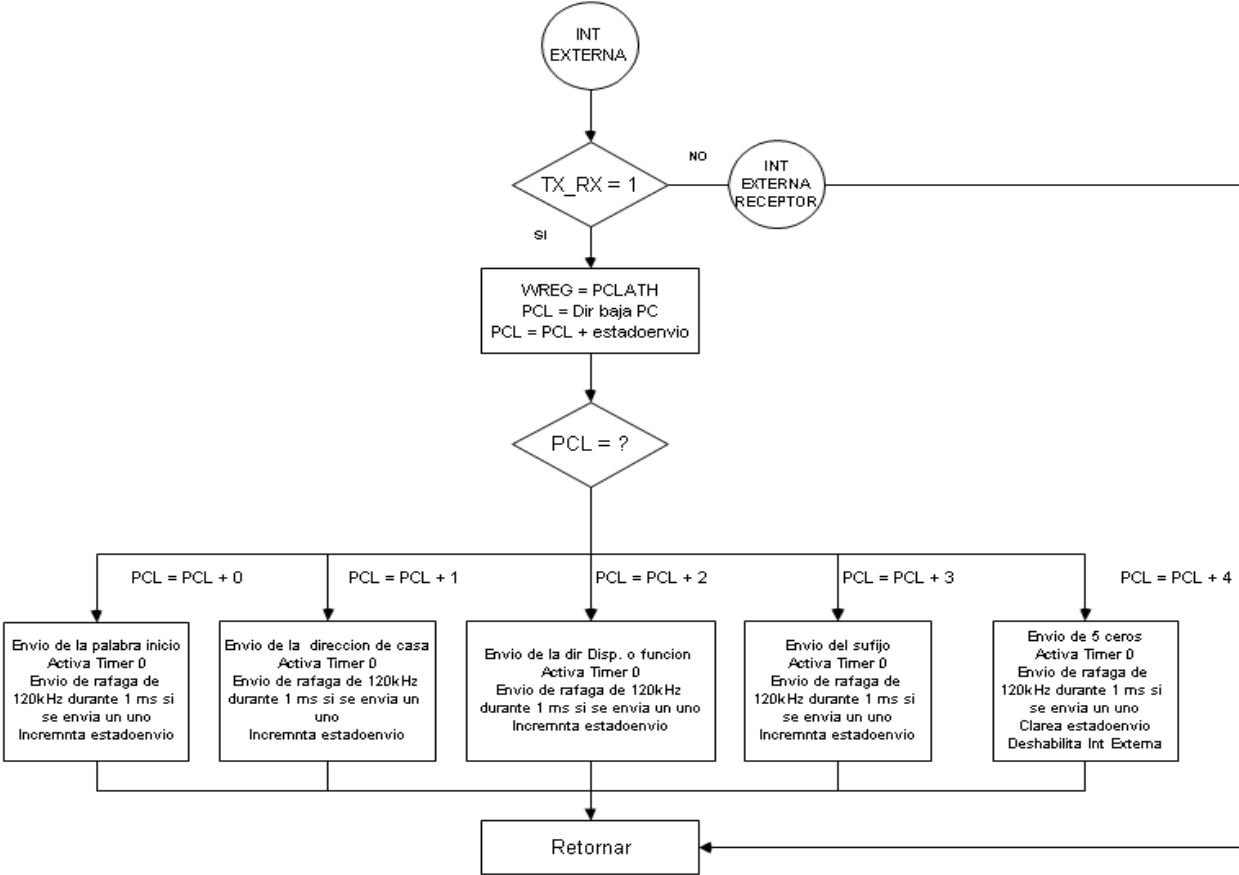




Figura 19. Diagrama de flujo interrupcion Externa (Transmision)







### 5.3.5 Esquemáticos de la aplicación.

Figura 22. Esquemático Microcontrolador 16F877

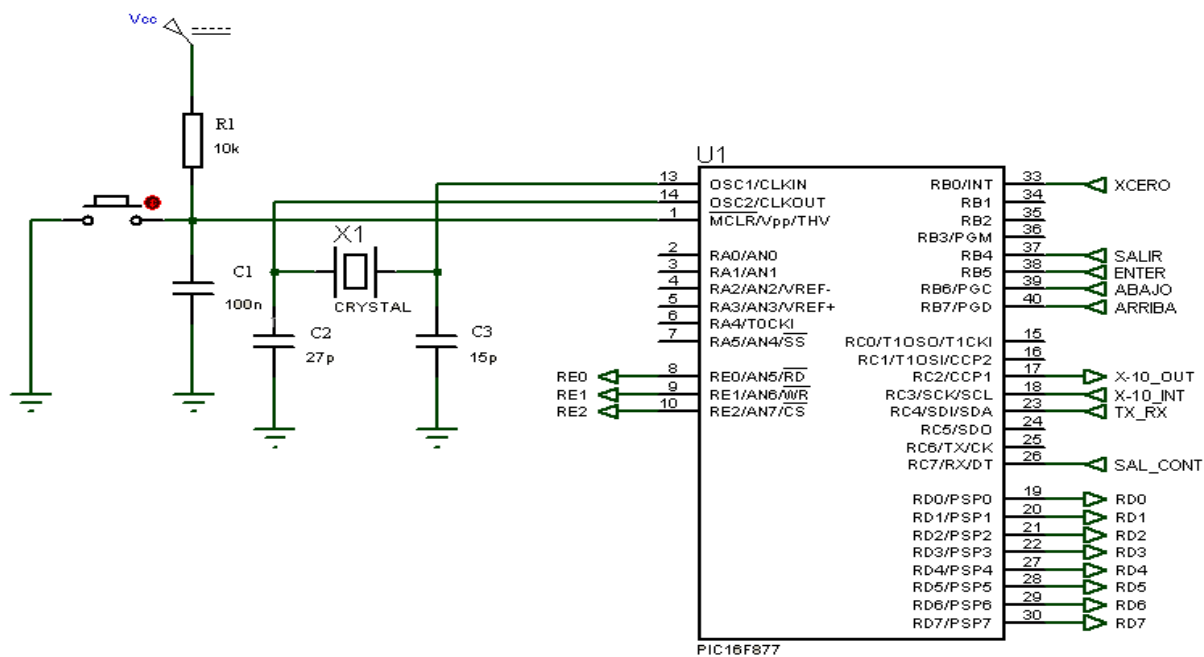


Figura 23. Esquemático LCD y botones de control

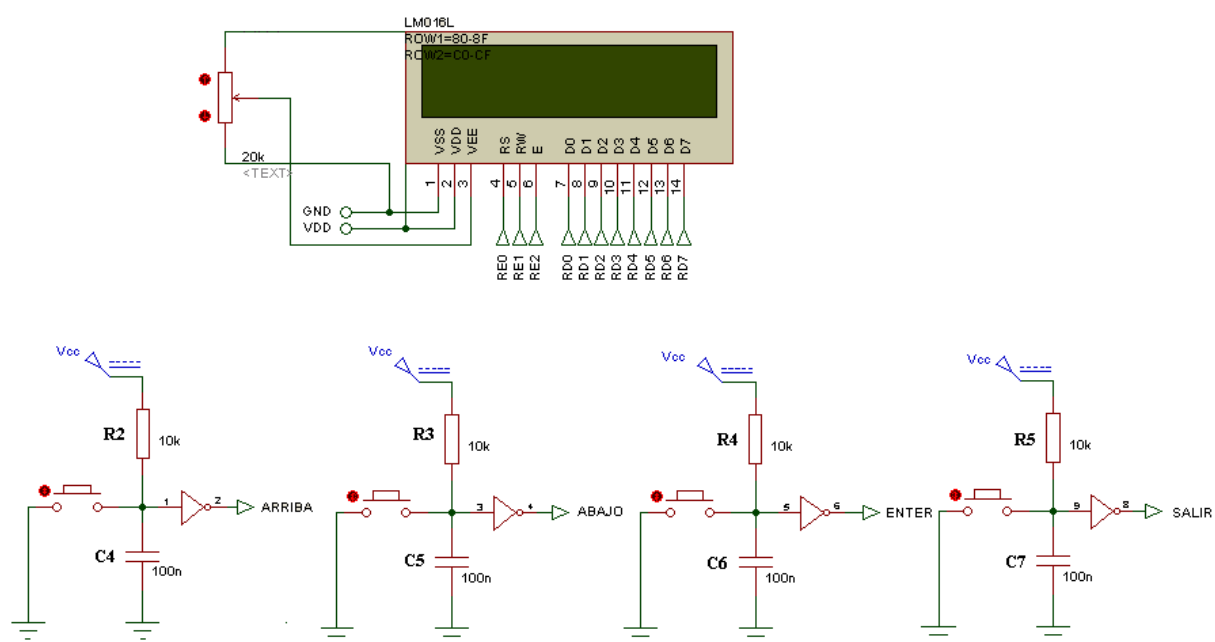


Figura 24. Esquemático Generador de onda de 120 kHz

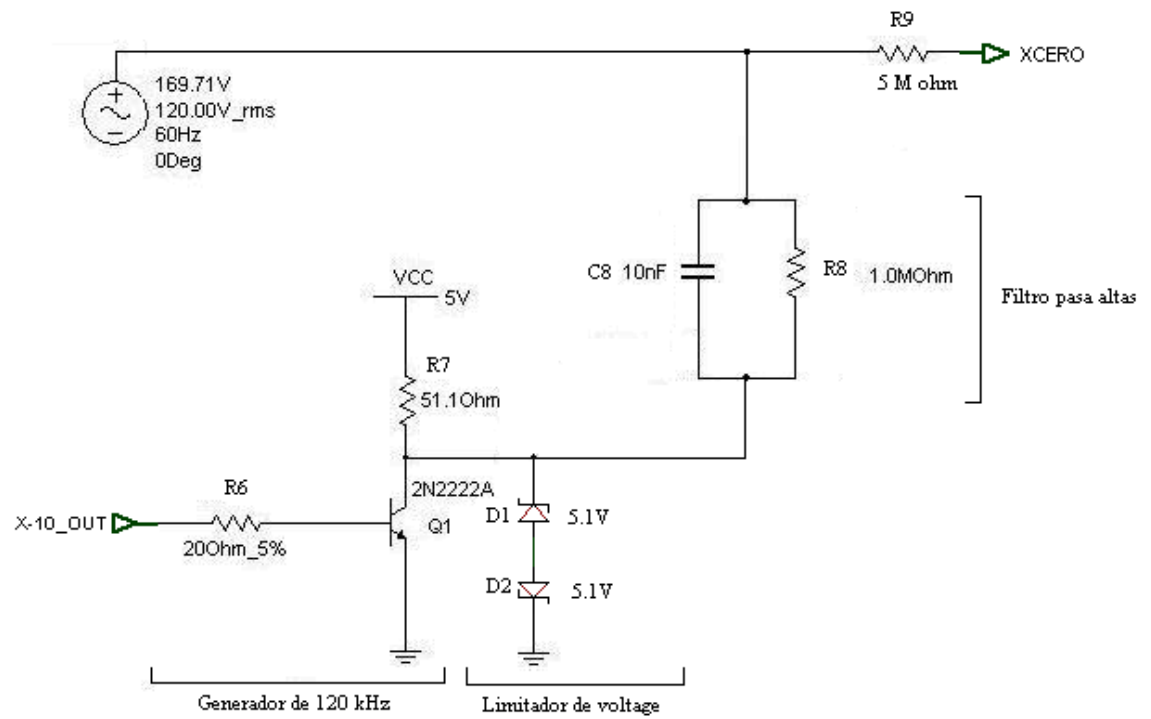


Figura 25. Esquemático Detector de Onda de 120 kHz.

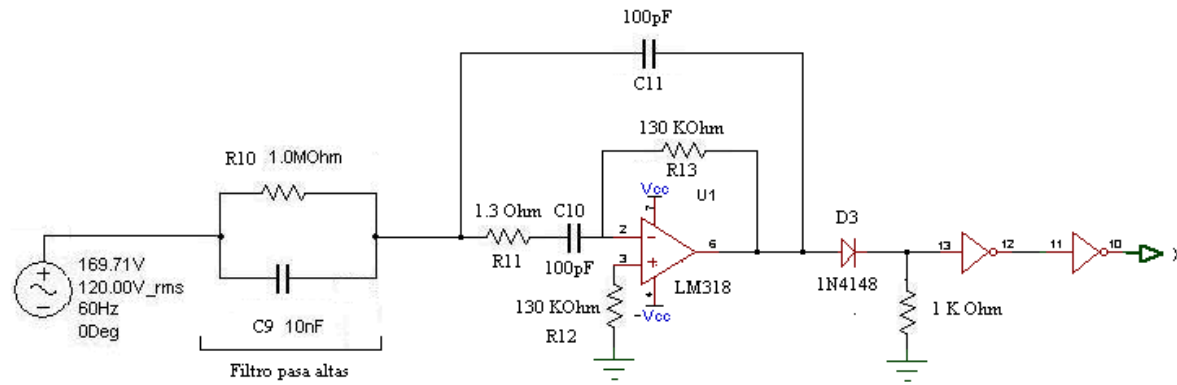
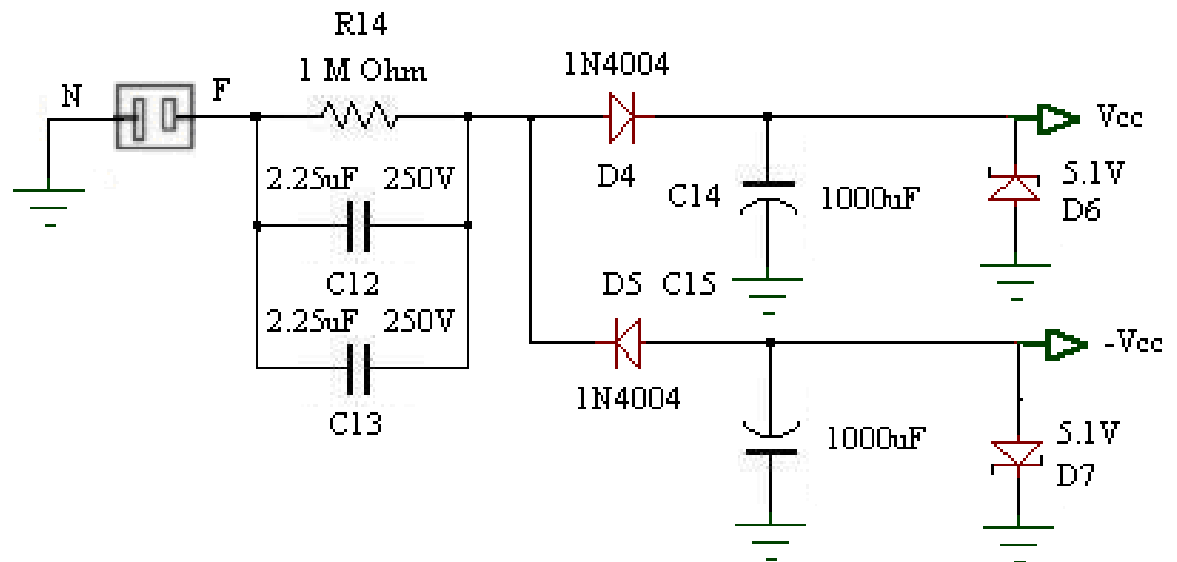


Figura 26. Esquemático Fuente de alimentación.



## 6 CONCLUSIONES

- Es posible darle múltiples funciones a un sistema conocidos y existentes aprovechando al máximo su disponibilidad, para el caso nuestro la red eléctrica, que durante décadas fue utilizada con un solo propósito, el proporcionar energía eléctrica y ahora es posible utilizarla como medio de transmisión de datos.
- Con el protocolo X.10 y los dispositivos desarrollados es posible implementar redes no convencionales en nuestro país, a bajo costo, pues se eliminan los costos de montaje físico, es decir, mano de obra, cableado adicional, en determinados casos modificación de la estructura física de la edificación o el agregar cable, cajas de puntos de conexión, tubería rectangular para enrutamiento de cableado.
- Diseño de redes modularizadas, es decir que el control de los dispositivos, se logra al dividirlos en módulos, que en el caso del protocolo X.10 se denominan casas, pues en un inicio, este fue diseñado para al automatización de hogares, y por cada “casa” se pueden controlar 16 dispositivos, y se pueden trabajar hasta con 16 casas, es decir que en total se pueden trabajar 256 dispositivos.
- Debido a la funcionalidad del diseño, tanto por su hardware y el software utilizado, cada modulo da la facilidad de trabajar tanto de receptor como de transmisor, así no es necesario el mover los módulos para determinar cual es el modulo transmisor, lo queda fácil traslado del punto de control.
- Es posible realizar la implementación del protocolo dentro de un microprocesador, debido a la eficiencia del software desarrollado.

- La etapa de mayor trabajo de ingeniería fue el desarrollo del modulo con función de receptor debido a la implementación de filtros y amplificación para que se pudiera realizar la identificación de las tramas por el microprocesador.
- Este protocolo fue propuesto para la automatización de hogares, pero por la facilidad de desarrollo, la implementación para la industria puede ser posible.



## BIBLIOGRAFÍA

Comunicación de Datos [en línea] Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes  
Septiembre 15 de 2002 [citado 27/ 9/ 03] disponible por internet

<http://iaci.unq.edu.ar/materias/comunicacion/archivos/apuntes/introduccion.pdf>

Inicios y situación actual de X10 [en línea] España: X.10. 1999 [citado 2/ 2 /2004]  
disponible por internet

[http://www.domotica.net/Inicios\\_y\\_situaci%F3n\\_actual\\_de\\_X10.htm](http://www.domotica.net/Inicios_y_situaci%F3n_actual_de_X10.htm)

Interfacing to AC Power Lines [en línea] U.S.A: Microchip Technology Incorporated,  
1997 [citado 9/ 9 /2003] disponible por internet

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00521c.pdf>

La historia de X10 por uno de sus pioneros [en línea] España: X.10. 1999 [citado 2/ 2  
/2004] disponible por internet

[http://www.domotica.net/La\\_historia\\_de\\_X10\\_por\\_uno\\_de\\_sus\\_pioneros'7.htm](http://www.domotica.net/La_historia_de_X10_por_uno_de_sus_pioneros'7.htm)

MPASM USER'S GUIDE with MPLINK and MPLIB [en línea] U.S.A: Microchip  
Technology Incorporated, 2003 [citado 15/ 2 /2004] disponible por internet

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/33014g.pdf>

MPLAB IDE v6.xx Quick Start Guide [en línea] U.S.A: Microchip Technology  
Incorporated, 2004 [citado 15/ 2 /2004] disponible por internet

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51281c.pdf>

PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual [en línea] U.S.A: Microchip  
Technology Incorporated, 1997 [citado 3/ 9 /2003] disponible por internet

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/33023a.pdf>

PIC16F87X Data Sheet 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers [en línea]  
U.S.A: Microchip Technology Incorporated, 2001 [citado 25/ 8 /2003] disponible por internet <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf>

PIC16F87XA Data Sheet 28/40-pin Enhanced FLASH Microcontrollers [en línea]  
U.S.A: Microchip Technology Incorporated, 2001 [citado 25/ 8 /2003] disponible por internet <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>

Protocolos de Comunicación. [en línea] Argentina: Universidad Nacional de Quilmes  
24 de Julio de 2000 [citado 3/ 10 /2004] disponible por internet  
<http://www.forest.ula.ve/~mana/cursos/redes/protocolos.html>

Transformerless Power Supply [en línea] disponible por internet [en línea] U.S.A:  
Microchip Technology Incorporated, 2000 [citado 25/ 8 /2003] disponible por internet  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/91008b.pdf>

X-10® Home Automation Using the PIC16F877A [en línea] U.S.A: Microchip  
Technology Incorporated, 2002 [citado 24/ 8 /2003] disponible por internet  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00236a.pdf>

X10 Powerline Carrier (PLC) Technology [en línea] U.S.A: X.10, 13 de Abril de 2003  
[citado 12/ 9 /2003] disponible por internet [http://www.x10.com/X10\\_Transmission\\_Theory.htm](http://www.x10.com/X10_Transmission_Theory.htm)

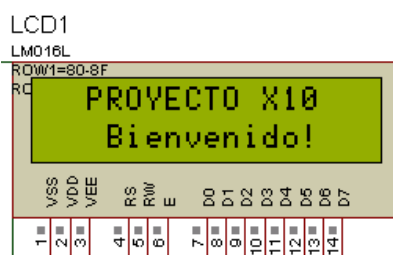
X-10 Technology Transmission Theory [en línea] U.S.A: X.10, 13 de Abril de 2003  
[citado 12/ 9 /2003] disponible por internet  
[http://www.fe.up.pt/~ee99043/plm/X-10\\_Technology\\_Transmission\\_Theory.htm](http://www.fe.up.pt/~ee99043/plm/X-10_Technology_Transmission_Theory.htm)

## ANEXOS

### ANEXO A. CONFIGURACIÓN BÁSICA DEL DISPOSITIVO

El sistema de comunicación utilizando el protocolo X-10, utiliza un LCD de 2x16 para observar cada uno de los mensajes de control, tanto en el dispositivo emisor como el receptor, este se utiliza por que proporciona los mensajes de forma sencilla (simplemente creando rutinas de control), una forma agradable (a simple vista) y entendible como se muestra en la figura A.1.

**Figura A. 1. Mensajes mostrados por el LCD**



Este tipo de dispositivos además de que son agradables a simple vista proporcionan los mensajes a tiempo, este tiempo depende de cuanto el LCD se demorara en procesar la instrucción que le ha llegado, estos valores varían según la instrucción y son mencionados en el manual de uso del LCD y son presentados en la tabla A.1, como estos tiempos no son críticos para esta aplicación este dispositivo pudo ser usado como interface de visualización entre el dispositivo y el usuario.

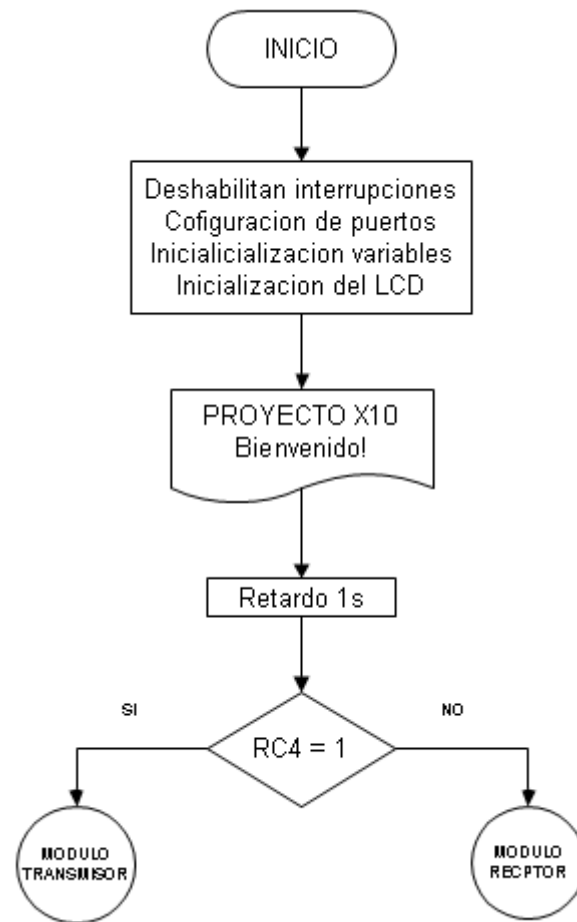
**Tabla A. 1. Tiempo de retardo en cada una de las instrucciones procesadas por un LCD**

<b>Instruction</b>	<b>Time (Max)</b>
Clear Display	82 $\mu$ s to 1-64ms
Display & Cursor Home	40 $\mu$ s to 1-64ms
Character Entry Mode	40 $\mu$ s
Display On/Off & Cursor	40 $\mu$ s
Display/Cursor Shift	40 $\mu$ s
Function Set	40 $\mu$ s
Set CGRAM Address	40 $\mu$ s
Set Display Address	40 $\mu$ s
Write Data	40 $\mu$ s
Read Data	40 $\mu$ s
Read Status	1 $\mu$ s

**Fuente: Notas de Aplicación LCD (The Typesetting Bureau)**

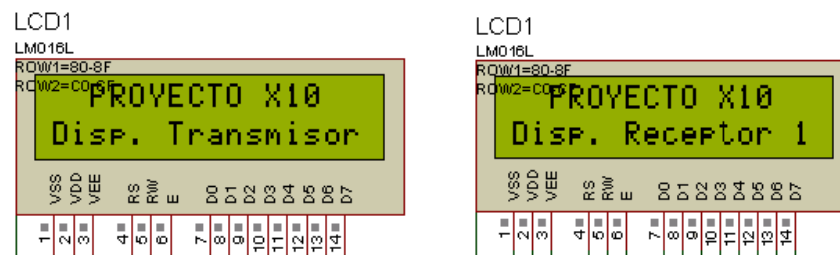
Para este proyecto se utilizan 4 botones que permiten desplazarse por cada uno de los menús de configuración presentes en el sistema, el inicio de estos depende de cómo este configurado el primer parámetro de funcionamiento. Este parámetro es el encargado de diferenciar cuando el dispositivo trabajara como modulo emisor o como modulo receptor, de acuerdo a esto los menús de configuración del sistema van a variar, esta selección se hace a través del pin RC3 del PIC16F877A, simplemente observando al inicio del programa cual es su estado lógico (cero o uno) ver figura A.2, y de acuerdo a esta medida el programa selecciona los mensajes adecuados, cave resaltar que el usuario puede manipular este valor y seleccionar como desea que trabaje su dispositivo según la necesidad que quiera resolver en ese instante.

**Figura A. 2. Selector de modo de funcionamiento**



Cuando el dispositivo es encendido se muestra al usuario un mensaje de saludo durante 1s. Ver figura A.1, después de este tiempo la aplicación resuelve como esta configurado su parámetro de funcionamiento (modulo receptor o modulo emisor), como se explico anteriormente. Ver figura A.2 y muestra el mensaje apropiado como se muestra a continuación

**Figura A. 3. Mensaje de inicio según el modulo seleccionado**



**Figura A.3.a. Mensaje modulo Transmisor**

**Figura A.3.b Mensaje modulo Receptor**

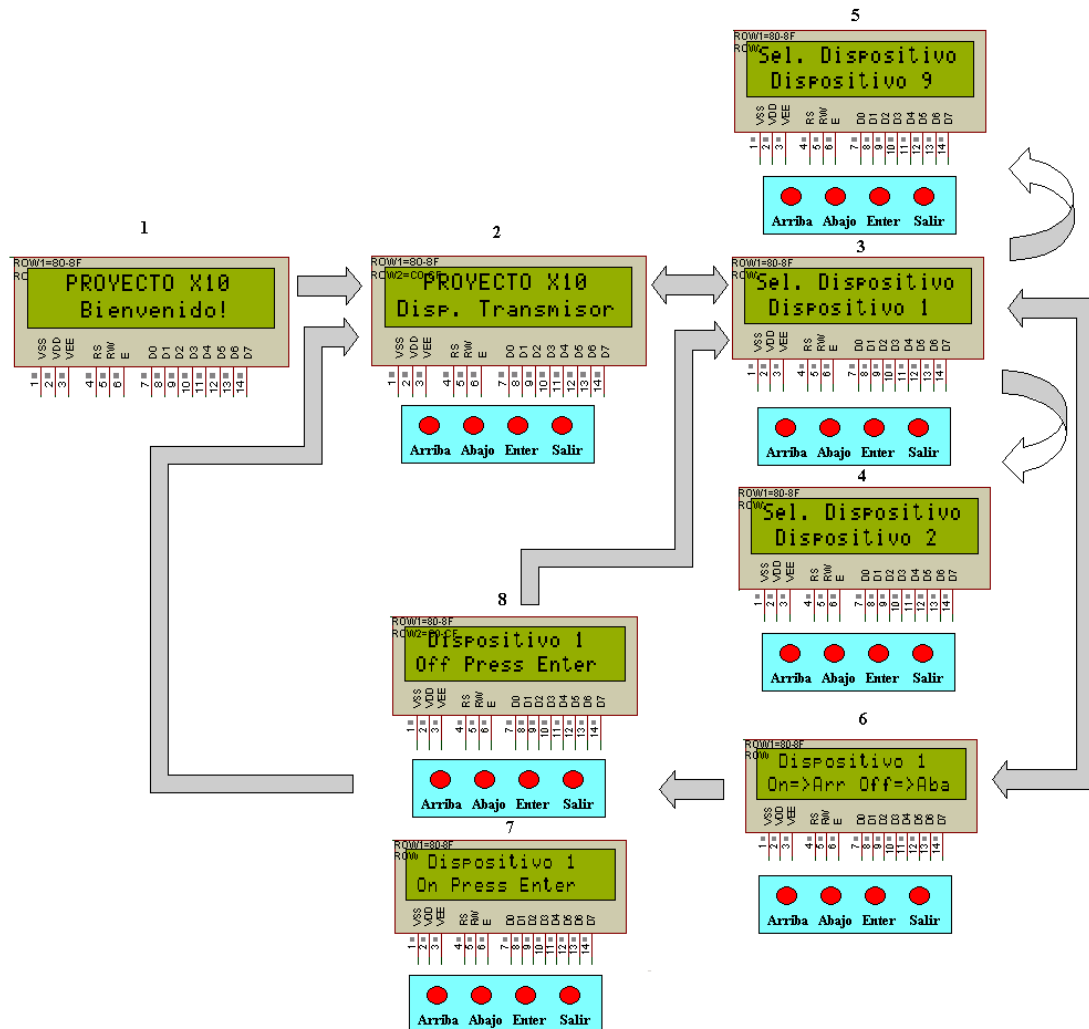
Anteriormente se menciono que el usuario cuenta con cuatro pulsadores, los cuales permiten a él usuario moverse entre menú y menú, estos dentro de la aplicación son:

- Botón Arriba (Up)
- Botón Abajo (Down)
- Botón Entre (Enter)
- Botón Salir (Exit)

A continuación veremos la función de cada uno de estos según el menú en que se encuentren:

## MENÚ DEL DISPOSITIVO TRANSMISOR

Figura A. 4. Menú del dispositivo transmisor



1. Al encender el dispositivo la aplicación muestra un mensaje de saludo, este solo aparecerá una sola vez y lo hará cada que se encienda el modulo transmisor o receptor, mientras este mensaje este en pantalla el usuario no tendrá la opción de utilizar los botones de control, por lo cual este mensaje permanecerá a la vista durante 1s y pasara automáticamente al estado siguiente. Ver figura A.4.
2. En el segundo estado el usuario ya puede hacer uso de los botones de control, en este estado se muestra como esta configurado el parámetro de inicio del sistema (modulo transmisor o modulo receptor. Ver figura A.2), en este estado algunos de botones no poseen una función específica, es decir, que al presionarlos el estado permanecerá constante por lo cual el mensaje en pantalla seguirá siendo el mismo, si en este estado se presiona el botón arriba o abajo el sistema no sufrirá cambios, al presionar el botón “enter” el sistema avanzará al estado 3 (Ver figura A.4) y al presionar el botón salir la aplicación permanecerá en el mismo estado ya que este es el estado de espera de las ordenes suministradas por el usuario.
3. Al llegar a este estado cada uno de los botones posee una función especial que permitirá al usuario seleccionar entre 9 dispositivos receptores diferentes y será ese al que sistema transmisor le enviará las instrucciones adecuadas para su funcionamiento, al presionar el botón arriba el sistema pasara al estado 4 e incrementará el número del dispositivo receptor a controlar o al presionar el botón abajo el dispositivo pasara al estado 3 y decrementará el valor del dispositivo receptor y así sucesivamente, al presionar el botón “enter” el usuario deberá estar seguro de que es ese el dispositivo receptor a manipular, debido a que en este estado se capturará la dirección de este y se enviaran los datos de control, a su vez se incrementará el estado pasando así al 6, en caso contrario el usuario puede desistir de la opción de controlar en ese instante cualquier dispositivo receptor solo presionando la tecla salir regresando al estado dos. Ver figura A.4.
4. En el estado 6 el usuario puede elegir entre dos funciones básicas para manipular el modulo receptor estas tienen que ver con el encendido o el apagado del aparato que estará conectado al dispositivo receptor el cual hará la traducción de las tramas X-10

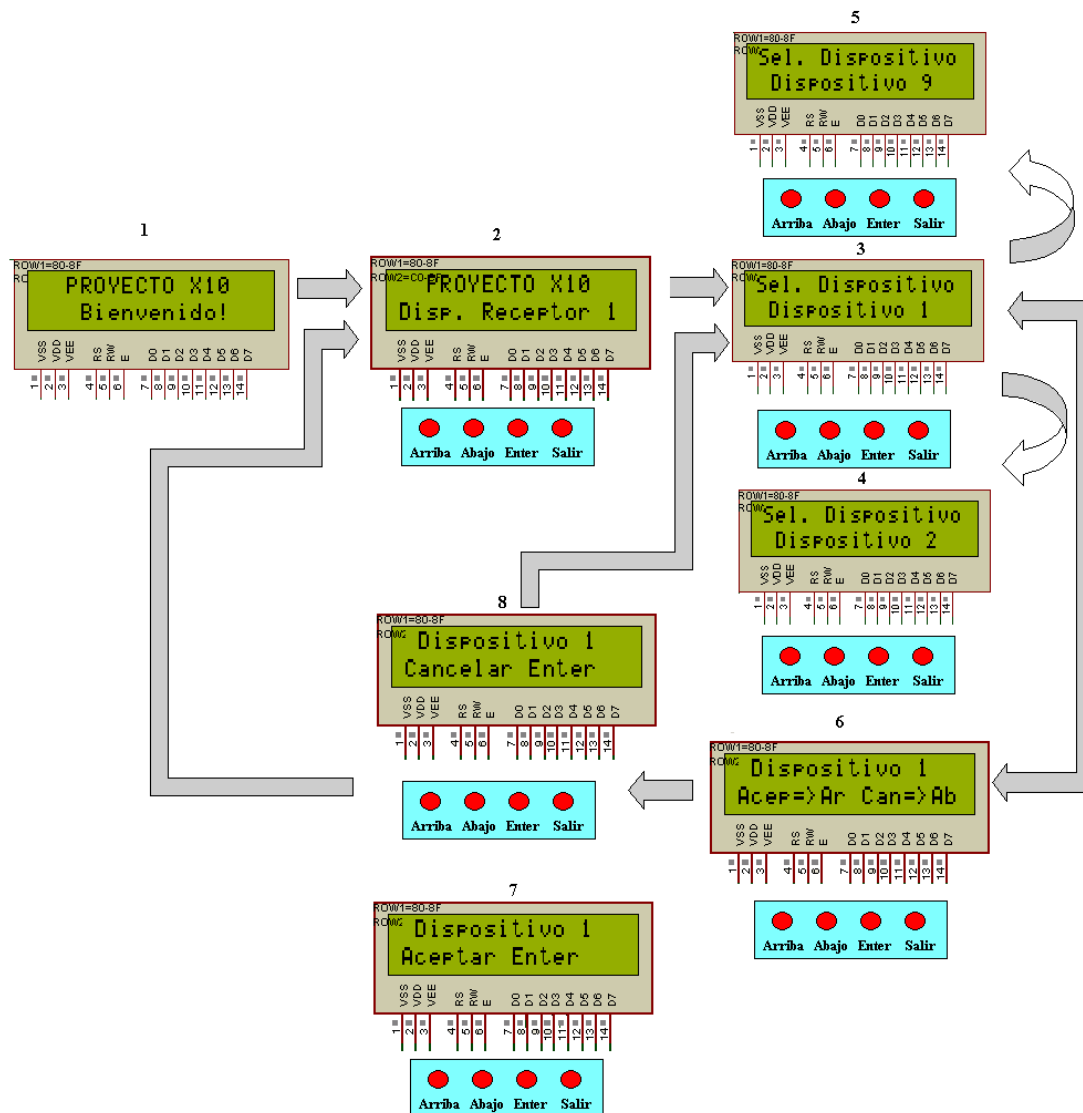


enviadas por el modulo transmisor, al presionar el botón arriba el sistema pasara al sistema 7 que tiene que ver con el encendido del instrumento conectado al circuito receptor o presionando el botón abajo el sistema pasara al estado 8 que tiene que ver con el apagado del instrumento conectado al modulo receptor, para este estado el botón “enter” no tiene una función en especial, el botón salir al ser presionado simplemente devuelve al sistema al estado anterior.

5. Este es el ultimo estado del sistema transmisor y tiene que ver con la confirmación del envío de las tramas X-10 hacia el circuito receptor, los botones arriba y abajo no tienen ninguna función, al presionar el botón “enter” se dará la confirmación al sistema transmisor para que empiece a hacer el envío de los datos hacia el modulo receptor, después de hacer esta función el sistema pasará al estado 2 donde esperará la nueva orden, en caso contrario de que el usuario desista de realizar la comunicación simplemente presiona la tecla salir llevando al sistema al estado 3. Ver figura A.4.

## MENÚ DEL DISPOSITIVO RECEPTOR

Figura A. 5. Menú del dispositivo receptor



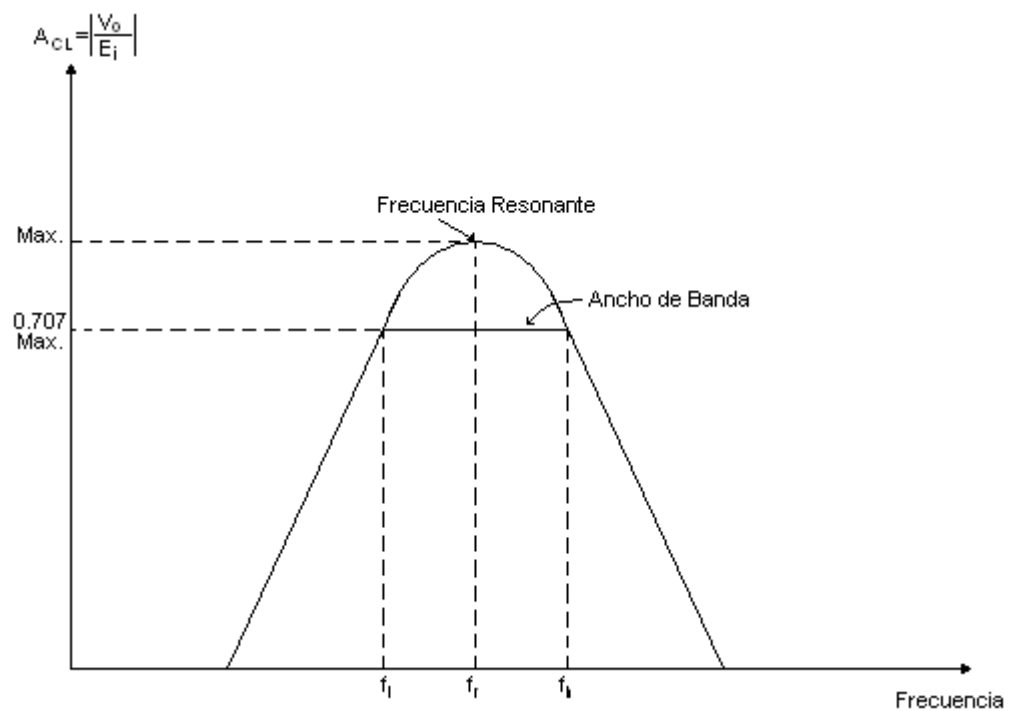
1. Al encender el dispositivo la aplicación muestra un mensaje de saludo, este solo aparecerá una sola vez y lo hará cada que se encienda el modulo transmisor o receptor, mientras este mensaje este en pantalla el usuario no tendrá la opción de utilizar los botones de control, por lo cual este mensaje permanecerá a la vista durante 1s y pasara automáticamente al estado siguiente. Ver figura A.5.

2. En el segundo estado el usuario ya puede hacer uso de los botones de control, en este estado se muestra como esta configurado el parámetro de inicio del sistema (modulo transmisor o modulo receptor. Ver figura A.2), en este estado algunos de botones no poseen una función específica, es decir, que al presionarlos el estado permanecerá constante por lo cual el mensaje en pantalla seguirá siendo el mismo, si en este estado se presiona el botón arriba o abajo el sistema no sufrirá cambios, al presionar el botón “enter” el sistema avanzará al estado 3 (Ver figura A.5) y al presionar el botón salir la aplicación permanecerá en el mismo estado ya que este es el estado de espera de las ordenes suministradas por el modulo transmisor.
3. Al llegar a este estado cada uno de los botones posee una función especial que permitirá al usuario seleccionar entre 9 direcciones diferentes y será esta la que lo identificará de los otros dispositivos receptores, al presionar el botón arriba el sistema pasara al estado 4 e incrementará el numero del dispositivo receptor a controlar o al presionar el botón abajo el dispositivo pasara al estado 3 y decrementará el valor del dispositivo receptor y así sucesivamente, al presionar el botón “enter” el usuario deberá estar seguro de que es esa es la dirección del dispositivo receptor, debido a que en esta va permitirle recibir solo a el las tramas enviadas desde el dispositivo transmisor, a su vez se incrementará el estado pasando así al 6, en caso contrario el usuario puede desistir de esta acción solo presionará la tecla salir regresando al estado dos. Ver figura A.5.
4. En el estado 6 el usuario puede elegir entre dos funciones básicas para configurar la dirección en el modulo receptor estas tienen que ver la aceptación o cancelación de la dirección asignada a el dispositivo receptor, al presionar el botón arriba el sistema pasara al sistema 7 que tiene que ver con la aceptación de la dirección asignada o seleccionada por el usuario o presionando el botón abajo el sistema pasará al estado 8 que tiene que ver con la cancelación de la dirección asignada al dispositivo receptor, para este estado el botón “enter” no tiene una función en especial, el botón salir al ser presionado simplemente devuelve al sistema al estado anterior.
5. Este es el ultimo estado del sistema receptor y tiene que ver con la confirmación de la dirección asignada al dispositivo receptor, los botones arriba y abajo no tienen

ninguna función, al presionar el botón “enter” se dará la confirmación de la dirección al sistema receptor, después de hacer esta función el sistema pasará al estado 2 donde esperará la nueva orden, en caso contrario de que el usuario desista de simplemente presiona la tecla salir llevando al sistema al estado 3. Ver figura A.5.

## ANEXO B. FILTRO PASA BANDA

El filtro pasa banda actúan como selectores de frecuencias, frecuencias que pertenecen a determinada banda de todas las frecuencias que pueden existir en una señal. Los filtros pasa banda presentan una ganancia máxima en la frecuencia de resonancia ( $f_r$ ) y las frecuencias de corte se encuentran en un valor de 0.707 de la ganancia máxima.



El ancho de banda se denomina como el rango de frecuencias comprendidas entre  $f_l$  y  $f_h$  y se denomina  $B_w$ .

$$B_{wo} = f_l - f_h$$

El ancho de banda no se encuentra centrado justamente en la frecuencia de resonancia, razón por la cual no se le llama a esta frecuencia central, si se conocen los valores de  $f_l$  y  $f_h$ , se puede hallar  $f_r$  con la siguiente ecuación.

$$f_r = \sqrt{f_h \times f_l}$$

Si se conoce la frecuencia resonante  $f_r$  y el ancho de banda  $B_w$ , mediante la siguiente ecuación se calculan las frecuencias de corte

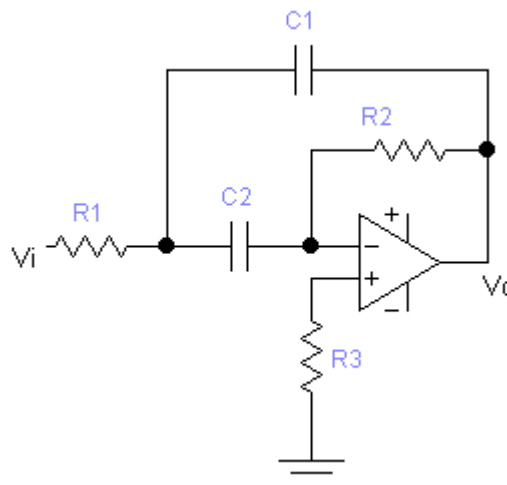
$$f_l = \sqrt{\frac{B_w^2}{4} + f_r^2} - \frac{B_w}{2} \quad f_h = f_l + B_w$$

Además de esto un filtro pasa banda, tiene otra característica llamada factor de calidad,  $Q$ , que se define como la relación entre la frecuencia resonante y el ancho de banda, es decir:

$$Q = \frac{f_r}{B_w}$$

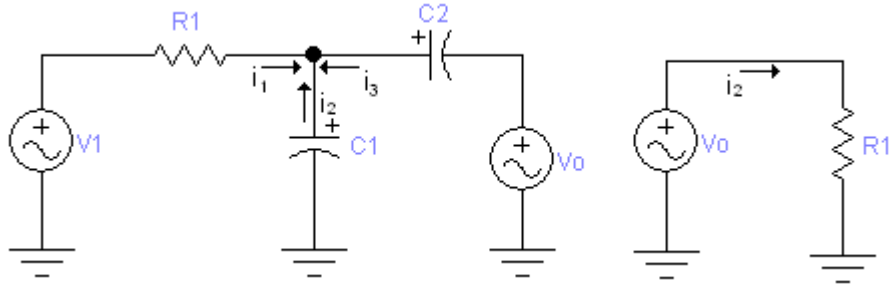
$Q$  es la medida de selectividad del filtro pasa banda. Un valor elevado de  $Q$  indica que el filtro selecciona una banda de frecuencias más reducidas es decir que se vuelve más selectivo.

### **CIRCUITO DE UN FILTRO PASABANDA DE BANDA ANGOSTA**



Análisis:

Circuito Equivalente



$$\frac{V_1 - V}{R_1} + \frac{V}{1/SC_2} = \frac{V - V_o}{1/SC_1}$$

$$i_2 = \frac{V_o}{R_2}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-S \frac{1}{R_1 C_1}}{S^2 + S \frac{1}{R_2} \left[ \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right] + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

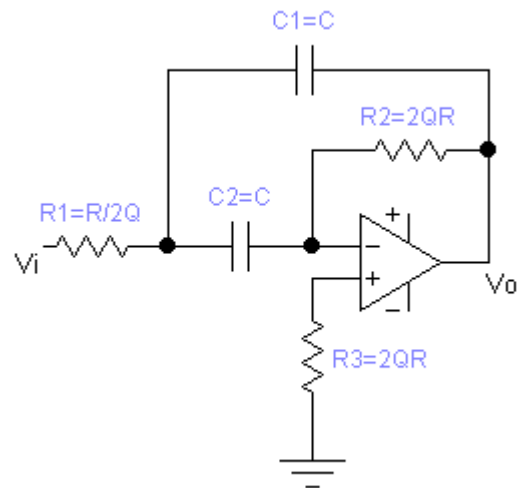
Donde  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$

Al normalizarlo para diseño obtenemos  $R_1 = \frac{R}{2Q}$  y  $R_2 = 2QR$  y  $C_1 = C_2 = C$

Y la ganancia del circuito, que es la relación  $\frac{V_o}{V_i} = -2Q^2$

$$f_r = \frac{1}{2\pi RC}$$

Lo que nos muestra una ganancia con una relación exponencial con respecto al factor de calidad Q.





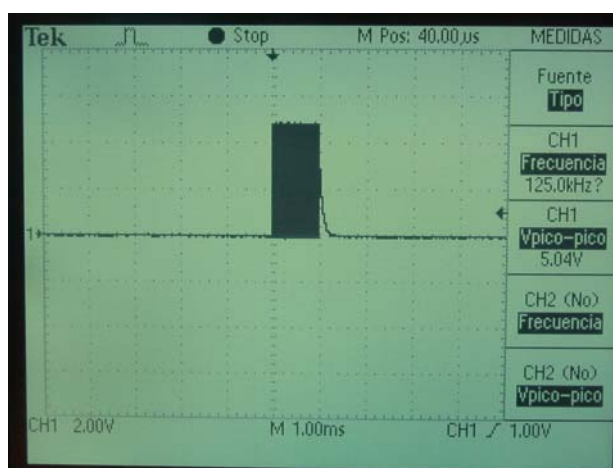
## ANEXO C. ANÁLISIS DE SEÑALES

Con el fin de poder detectar cualquier tipo de falla dentro de la aplicación se han señalado los puntos mas importantes que se deben observar al ocurrir cualquier anomalía en el sistema, en este capitulo se hace un análisis de las señales muestreadas y sobre los puntos indicados a medir.

### FALLO POR AUSENCIA DE LA SEÑAL DE 120 KHZ

Si el dispositivo ya esta configurado como modulo transmisor y respectivamente se encuentra conectado a la red eléctrica el sistema debe enviar señales de control hacia el modulo receptor, si el modulo receptor no opera bien la orden enviada desde el transmisor, cerciórese primero de que corresponda la dirección del dispositivo receptor con la dirección a la cual el modulo transmisor ha enviado la señal de control, si la falla persiste se debe revisar entonces la fuente que genera de la señal de 120 kHz en el modulo configurado como dispositivo transmisor esto se debe hacer poniendo la punta del osciloscopio en el pin X-10 OUT (Ver figura 22). Una replica de la señal que debe verse se muestra a continuación:

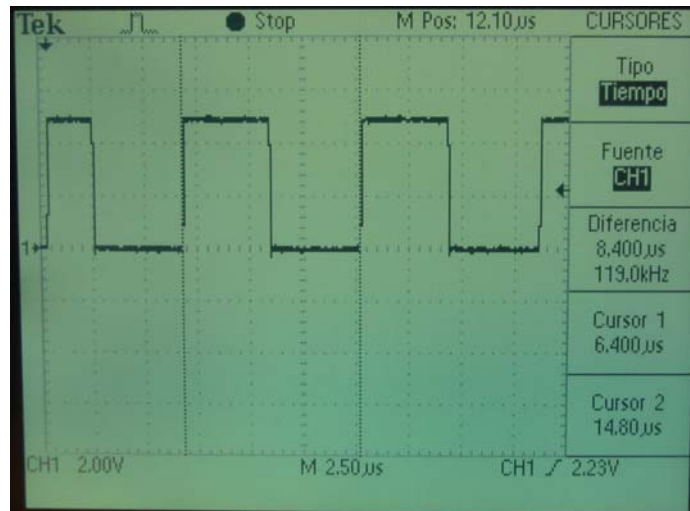
**Figura C. 1. Señal de muestreada en X-10 OUT**



En la grafica anterior se puede ver una señal de 5V con una frecuencia de 120 k Hz (ver figura C.2) durante 1ms, si la señal no es observada cuando se envía una orden de

control hacia el dispositivo receptor la falla esta en el PIC16F877 o en la detección de cruce por cero de la señal de la red, si por el contrario la señal es observada correctamente el daño no esta en este punto.

**Figura C. 2. Frecuencia de la señal muestreada.**

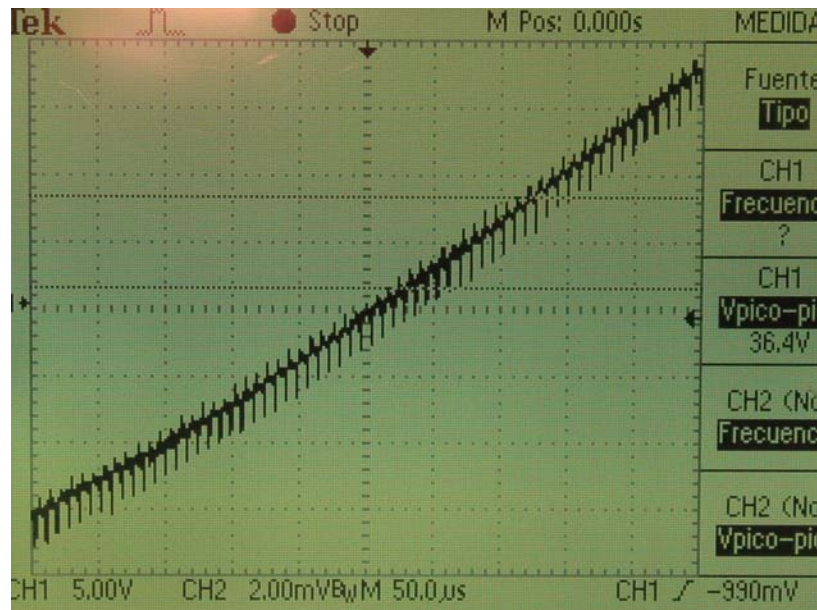


Si la falla persiste y la señal de 120 kHz no ha sido observada coloque la punta del osciloscopio en el pin de entrada del microcontrolador XCERO (Ver figura 22) aquí debe verse una señal cuadrada de 60 Hz a 5V, si esta señal esta ausente la falla esta en la resistencia R9 (Ver figura 24), si la resistencia no presenta ninguna falla, entonces estará localizada en el PIC16F877.

Si todavía no ha sido posible localizar la falla del sistema porque en los puntos que anteriormente se han descrito no se presenta ninguna anomalía, se deberá muestrear en otro pin del sistema para seguir el recorrido de la señal de 120 kHz hacia la red eléctrica.

El próximo pin a muestrear es el que se localiza entre el capacitor C8 y la resistencia R9 (Ver figura 24) la señal que debe observarse en ese momento es una señal de 60 Hz (red eléctrica), el osciloscopio debe graduarse a la escala adecuada para que en el momento de enviar la trama X-10 hacia el circuito receptor esta pueda ser observada la señal de 120 kHz inyectada en la red como se muestra en la figura C.3

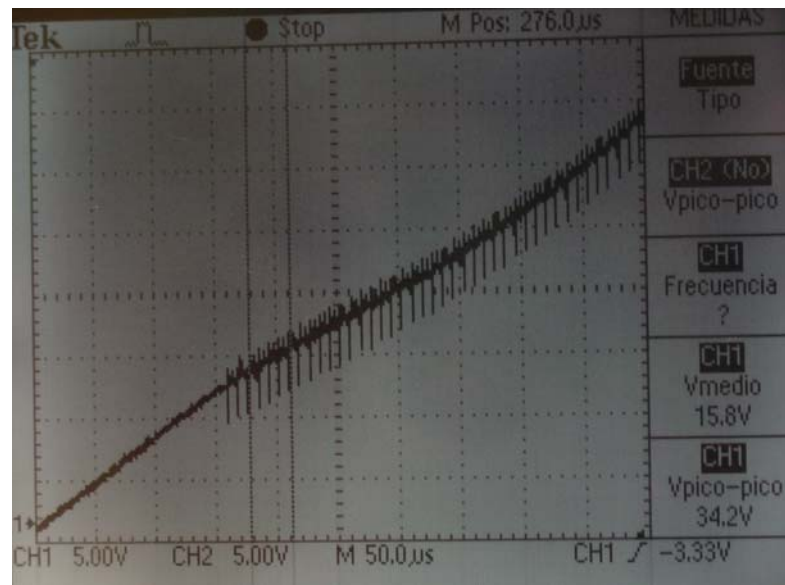
**Figura C. 3. Inducción de la señal de 120 kHz a la red eléctrica.**



Si la señal mostrada en la grafica anterior no pudo ser observada es porque la falla del sistema se encuentra en el circuito de desacople con la señal de 60Hz (Ver figura 24), si por el contrario la señal fue observada correctamente la falla no se encuentra en el modulo transmisor sino que posiblemente estará localizada en el modulo receptor.

En el mismo punto donde se midió anteriormente (entre C8 y R9) se debe colocar la punta del osciloscopio pero cabe resaltar que ahora se hará en el modulo configurado como receptor y la señal obtenida debe ser similar a la entregada por el modulo transmisor (Ver figura C.4).

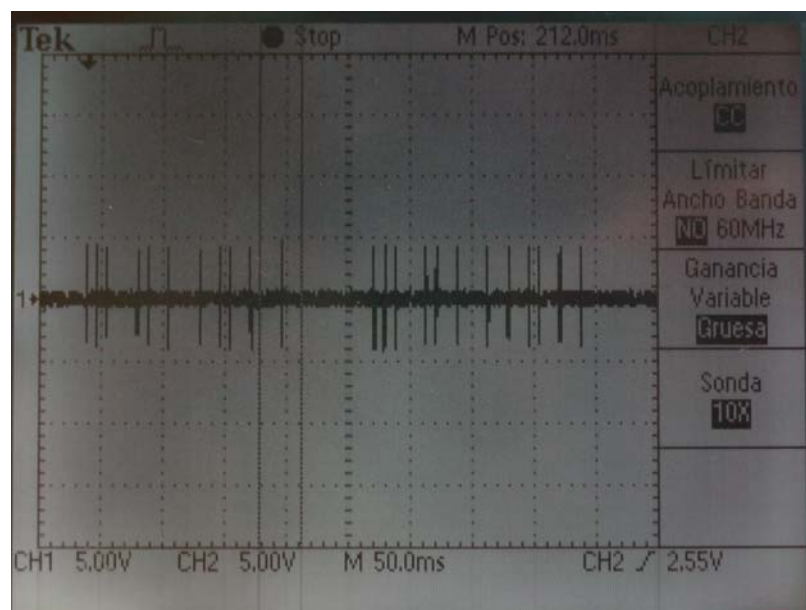
**Figura C. 4. Señal recibida desde la red eléctrica.**



Si esta señal fue vista de manera similar saltaremos ahora a revisar el circuito que reconstruye la señal de 120 kHz eliminando de manera total la señal de 60 Hz.

La punta del osciloscopio debe ser colocada ahora entre el capacitor C11 y el diodo D3 (Ver figura 25) ahí debe observarse la siguiente señal:

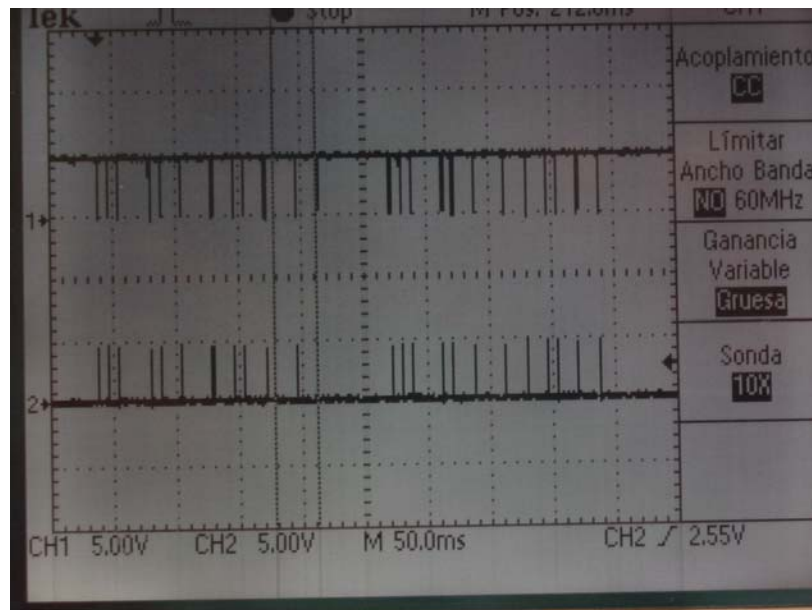
**Figura C. 5. Reconstrucción de la señal de 120 kHz**



Si la señal anterior no es observada la falla esta en el amplificador operacional LM318 aquí se debe revisar tanto el voltaje de alimentación (+Vcc,-Vcc) sea el correcto o cada

uno de los componentes de la configuración en la cual se encuentra el trabajando para esta aplicación ver figura 25, si por el contrario la señal fue observada coloque la punta del osciloscopio en el terminal X-10 INT del microcontrolador el cual mostrara la señal que se muestra en la figura C.6 cuando la trama X-10 halla sido enviada desde el transmisor

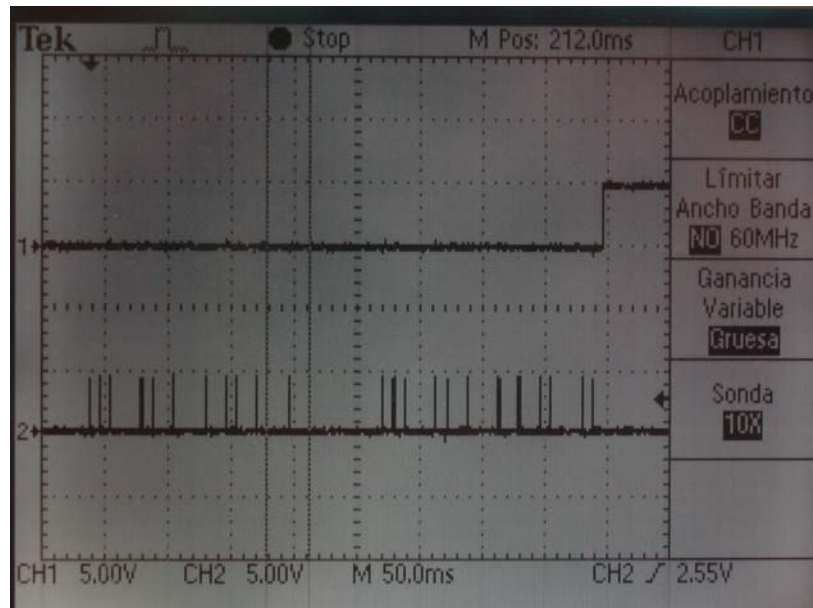
**Figura C. 6. Trama X-10 Enviada desde el transmisor y recibida por el Receptor**



En la grafica anterior se ve toda la trama enviada desde el modulo transmisor hacia el modulo receptor, la trama enviada es la que se observa en la parte de superior de la figura que corresponde a la punta 1 del osciloscopio, la trama que corresponde a la punta del osciloscopio 2 es la reconstrucción de la trama recibida por el modulo receptor si esta si esta trama es idéntica a la enviada la falla no estará localizada aquí sino que se encontrara localizada en la resistencia R9 que permite que sea detectado el cruce por cero de la señal y la sincronización entre ambos sistemas.

Otras señales que pueden ser útiles para la detección de los errores dentro del sistema son mostradas a continuación:

**Figura C. 7. Punta Osc 1. Envío de Trama X-10 (Encendido) Punta Osc 2 señal de control**



**Figura C. 8. Punta Osc 1. Envío de Trama X-10 (Apagado) Punta Osc 2 señal de control**

